

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAQUEL FAVA DE BITENCOURT

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO NO
INTERIOR DE AERONAVES

Florianópolis, Dezembro de 2008

RAQUEL FAVA DE BITENCOURT

**DESEMPENHO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO NO
INTERIOR DE AERONAVES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração – Ergonomia, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D.

Florianópolis, Dezembro de 2008

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO NO INTERIOR DE AERONAVES

RAQUEL FAVA DE BITENCOURT

Esta tese foi submetida ao processo de avaliação pela Banca Examinadora para obtenção do título de

Doutor em Engenharia de Produção

e aprovada em sua forma final em dezembro de 2008, atendendo às normas da legislação vigente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Ergonomia, Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.
Coordenador do Programa**

**Prof. Samir Nagi Yousre Gerges, PhD.
Orientador**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Roberto Jordan, Dr. Eng.
Moderador (UFSC)**

**Prof. Roberto Moraes Cruz, Dr. Eng.
Co-orientador (UFSC)**

**Prof. Júlio A. Cordioli, Dr. Eng.
Examinador (UFSC)**

**Prof^a. Ana Claudia Fiorini, Dra.
Examinador externo (PUC-SP)**

**Fabiano Reikdal Lima, Dr. Eng.
Examinador Externo (Embraer S.A.)**

*“...tudo que fica pronto na vida
foi construído antes,
na alma !”*
Nizan Guanaes

Agradecimentos

À minha família, meu pai e meu irmão, os quais sempre torceram e apoiaram as minhas escolhas.

Ao prof. Samir, expresso o meu agradecimento pelo convite para fazer parte de sua equipe e pela oportunidade em trabalhar no LVA.

Essa tese não seria possível sem a disponibilidade, boa vontade e mais importante, a amizade da colega Fernanda, a qual passou horas auxiliando no desenvolvimento do software e viabilizando discussões importantes para a tese.

Ao professor Roberto Cruz e a professora Ana Cláudia Fiorini, exemplo de profissionalismo, pelos ensinamentos em sala de aula (e fora dela) e sugestões para esta tese.

Ao professor Jordan e Professor Júlio, pelas correções e sugestões desde a época dos relatórios do projeto.

Ao querido amigo Ricardo, que dedicou seu tempo para ler e opinar sobre este trabalho, mas principalmente pela amizade e carinho.

Aos colegas de projeto que contribuíram desde o princípio deste trabalho. Aos colegas do laboratório que tornaram esses quatro anos muito mais alegres, Maysa, Thiago, Júlio, Bilú, Will, Mauricy, Felippinho, Juliana, Janete, Furuka, Mário, Baba, Olavo, Gringo, Vizinho, Luisinho, Caetano, Garrincha, Ricardo e Camila. Agradeço também pela paciência na participação dos ensaios e discussões.

À equipe da empresa parceira, Rafael, Patrícia e Fabiano pelo apoio na realização desta pesquisa.

Aos participantes deste estudo, pela disponibilidade.

Ao CNPQ pelo incentivo dado por meio da bolsa de estudo.

E finalmente ao Jesus Alberto, amor da minha vida, pela amizade, carinho, parceria e paciência nesta etapa. Obrigada pela felicidade que me proporciona.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	XI
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO	2
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.2.3 <i>Originalidade e Contribuição da Pesquisa</i>	4
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE PSICOACÚSTICA	6
2.1.1 <i>Percepção do som</i>	7
2.1.2 <i>Considerações sobre Audição Biauricular</i>	8
2.1.3 <i>Qualidade Sonora</i>	10
2.1.4 <i>Modelos Psicoacústicos</i>	11
2.1.5 <i>Avaliações Subjetivas</i>	14
2.2 ESTUDOS DE ERGONOMIA E CONFORTO RELACIONADOS AO RUÍDO NO INTERIOR DE AERONAVES	18
2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUBJETIVA DE CONFORTO.....	20
2.3.1 <i>Diferencial Semântico (DS)</i>	20
2.3.2 <i>Ordenamento</i>	22
2.3.3 <i>Escala de resposta (ER)</i>	22
2.3.4 <i>Comparação Pareada (CP)</i>	22
2.3.5 <i>Estimativa de Magnitude (EM)</i>	24
2.4 PESQUISAS NA ÁREA.....	24
CAPÍTULO 3: ESTUDO E DEFINIÇÃO DA SEMÂNTICA.....	27
3.1 MÉTODO	27
3.1.2 <i>Ambiente e sons do ensaio</i>	28
3.1.3 <i>Preparação dos ensaios (questionário)</i>	29
3.1.4 <i>Coleta de descritores via e-mail</i>	31
3.2 RESULTADOS E COMENTÁRIOS.....	31
3.2.1 <i>Coleta de descritores via e-mail</i>	31
3.2.2 <i>Coleta de descritores com questionário estruturado dentro do mock-up</i>	33
3.2.3 <i>Levantamento dos descritores utilizados em projetos anteriores</i>	34
3.2.4 <i>Coleta de descritores por brain-storming de especialistas em acústica</i>	34
3.2.5 <i>Coleta de descritores em literatura</i>	34
3.2.6 <i>Coleta de antônimos para a lista preliminar</i>	34
3.2.7 <i>Coleta de descritores por meio de gravação da fala espontânea (associação livre)</i>	35
3.2.8 <i>Coleta de descritores pelo método dos trios (Triadic Comparison)</i>	35
3.2.9 <i>Lista de descritores preliminar</i>	37
3.2.10 <i>Aplicação da lista preliminar de descritores em voo</i>	37
3.2.11 <i>Lista de descritores revisada</i>	37
3.2.12 <i>Desenvolvimento e validação do diferencial semântico (DS)</i>	38
3.2.13 <i>Escolha e adaptação dos itens</i>	39
3.3 CONCLUSÕES.....	44
CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE (SOFTWARE) PARA OPERACIONALIZAÇÃO DOS ENSAIOS COM OS MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO SUBJETIVA DO CONFORTO 45	
4.1 INTERFACES	45
4.1.1 <i>Configuração</i>	45
4.1.2 <i>Cadastro</i>	47

4.1.3 Familiarização e Ambientação	48
4.1.4 Treinamento.....	49
4.2 CONCLUSÕES	52
CAPÍTULO 5: ESTUDO DOS MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO NO INTERIOR DE AERONAVES	53
5.1 MÉTODO	53
5.1.2 Caracterização da amostra e critérios de inclusão	53
5.1.3 Escolha e análise dos sons	54
5.1.4 Escolha dos métodos	54
5.1.5 Escolha dos atributos (itens)	55
5.2 RESULTADO E ANÁLISE DOS DADOS	55
5.3 ESCALA DE RESPOSTA (ER).....	57
5.3.1 Resultados da Escala de Resposta.....	57
5.3.2 Conclusões da Escala de Resposta.....	73
5.4 ESTIMATIVA DE MAGNITUDE	74
5.4.1 Resultados da Estimativa de Magnitude	74
5.4.2 Conclusões da Estimativa de Magnitude (EM)	87
5.5 DIFERENCIAL SEMÂNTICO (DS)	87
5.5.1 Resultados do DS.....	88
5.5.2 Conclusão do DS.....	103
5.6 COMPARAÇÃO PAREADA (CP).....	104
5.6.1 Resultados da CP.....	104
5.6.2 Conclusões da Comparação Pareada.....	113
5.7 ORDENAMENTO	113
5.7.1 Resultados do Ordenamento.....	113
5.7.2 Conclusão do Ordenamento.....	117
5.8 INFORMAÇÕES ADICIONAIS	117
5.9 CARACTERÍSTICAS PSICOACÚSTICAS DOS SONS E AVALIAÇÕES SUBJETIVAS	118
5.9.1 Escolha e análise dos sons	118
5.9.2 Cálculo dos Modelos Psicoacústicos	119
5.9.3 Correlação dos Modelos Psicoacústicos e os resultados subjetivos	119
5.9.4 Conclusões	122
5.10 CONCLUSÃO DO ESTUDO DOS MÉTODOS	122
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	124
REFERÊNCIAS.....	126
APÊNDICES.....	132

Lista de Figuras

Figura 1.1 Atributos de conforto no interior de uma aeronave.....	3
Figura 2.1 Sistemas de gravação biauricular.....	9
Figura 2.2 Exemplo de diferencial semântico	21
Figura 3.1 Esquema do estudo da semântica.....	27
Figura 3.2 Foto do ambiente externo e interno de ensaio.	28
Figura 3.3 Esquema de aquisição, análise, equalização e reprodução dos sons.	29
Figura 3.4 Categorias criadas para o agrupamento dos descritores.	32
Figura 3.5 Descritores utilizados para ruídos e vibrações dentro de aeronaves sem apresentação de um estímulo.	33
Figura 3.6 Interface desenvolvida para manuseio dos sons no interior do <i>mock-up</i>	36
Figura 3.7 Ocorrência dos descritores para o som.	36
Figura 3.8 Projeção das modalidades dos atributos intenso/não intenso; forte/fraco; barulhento/silencioso no primeiro plano fatorial.....	40
Figura 3.9 Projeção das modalidades dos atributos agradável /desagradável; bom/ruim no primeiro plano fatorial.	41
Figura 3.10 Projeção das modalidades dos atributos irritante/não-irritante; estressante/não-estressante; perturbador/não perturbador; familiar/não-familiar no primeiro plano fatorial.	41
Figura 3.11 Projeção das modalidades dos atributos suportável/insuportável; tolerável/intolerável no primeiro plano fatorial.	42
Figura 4.1 Tela de configurações.....	47
Figura 4.2 Cadastro do número do ouvinte.....	48
Figura 4.3 Interface de coleta de dados demográficos.....	48
Figura 4.4 Interface de familiarização com os sons.....	49
Figura 4.5 Treinamento da avaliação com o DS.....	49
Figura 4.6 Treinamento da avaliação com o Ordenamento.....	50
Figura 4.7 Treinamento da avaliação com a ER.....	50
Figura 4.8 Treinamento da avaliação com a CP.....	50
Figura 4.9 Treinamento da avaliação com a EM.	50
Figura 4.10 Interface do DS.	51
Figura 4.11 Interface da CP.	51
Figura 4.12 Interface do Ordenamento.	51
Figura 4.13 Interface da ER.	51
Figura 4.14 Interface da EM.....	52
Figura 5.1 Desenho da avaliação do conforto acústico para o interior de aeronaves.....	53

Figura 5.2 Organograma do ensaio e processamento dos dados.....	55
Figura 5.3 Histograma do número de viagens realizadas nos 12 meses anteriores ao ensaio.	56
Figura 5.4 Gráfico da perturbação causada pelo ruído no interior de aeronave.	56
Figura 5.5 Histogramas das avaliações do item conforto na ER para o som A, B e C.	58
Figura 5.6 Diagrama de caixa das avaliações do item conforto na ER para os sons A, B e C.....	59
Figura 5.7 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade na ER para os sons A, B e C.....	61
Figura 5.8 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da irritabilidade e perturbação na ER para os sons A, B e C.....	62
Figura 5.9 Histogramas das avaliações do item estabilidade na ER para o som A, B e C.	63
Figura 5.10 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da estabilidade na ER para os sons A, B e C.	64
Figura 5.11 Histogramas das avaliações do item intensidade na ER para o som A, B e C.....	65
Figura 5.12 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da intensidade na ER para os sons A, B e C.	65
Figura 5.13 Diagrama de dispersão contendo relação das avaliações do atributo conforto na ER com a aceitabilidade, a agradabilidade, a suportabilidade e a estabilidade.....	67
Figura 5.14 Relação das avaliações do atributo conforto na ER com a irritabilidade, a intensidade e a perturbação.	67
Figura 5.15 Projeção das observações no primeiro plano fatorial.....	69
Figura 5.16 Projeção das observações (351 e 340, 133 e 18) no primeiro plano fatorial.	69
Figura 5.17 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.	70
Figura 5.18 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.....	70
Figura 5.19 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – sem legenda.	71
Figura 5.20 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – com legenda.	72
Figura 5.21 Histogramas das avaliações do item conforto na EM para o som A, B e C.....	75
Figura 5.22 Diagrama de caixa das avaliações do item conforto na EM para os sons A, B e C.	76
Figura 5.23 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade na EM para os sons A, B e C.	78
Figura 5.24 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da irritabilidade e perturbação na EM para os sons A, B e C.....	80
Figura 5.25 Histogramas das avaliações do item intensidade na ER para o som A, B e C.....	81
Figura 5.26 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da intensidade na ER para os sons A, B e C.	81

Figura 5.27 Relação das avaliações do atributo conforto na EM com a aceitabilidade, a agradabilidade, a estabilidade e a suportabilidade.....	83
Figura 5.28 Relação das avaliações do atributo conforto na EM com a irritabilidade, a intensidade e a perturbação.	83
Figura 5.29 Projeção das observações no primeiro plano fatorial.....	84
Figura 5.30 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.	85
Figura 5.31 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.....	85
Figura 5.32 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial.....	86
Figura 5.33 Gráfico de barras da porcentagem de avaliações para o item confortável/desconfortável no DS para o som A, B e C.	89
Figura 5.34 Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item confortável/desconfortável no DS para os sons A, B e C.	89
Figura 5.35 Diagrama de caixa comparativo dos resultados dos itens agradável/desagradável, estável/instável, aceitável/inaceitável, suportável/insuportável no DS para os sons A, B e C.....	92
Figura 5.36 Diagrama de caixa comparativo dos resultados dos itens irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador no DS para os sons A, B e C.....	93
Figura 5.37 Diagrama de caixa comparativo dos resultados do item intenso/não-intenso no DS para os sons A, B e C.....	94
Figura 5.38 Gráfico das observações: Projeção das observações no primeiro plano fatorial.....	95
Figura 5.39 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.	95
Figura 5.40 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.....	96
Figura 5.41 Projeção das modalidades dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial.....	96
Figura 5.42 Projeção das modalidades dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – com legenda.....	97
Figura 5.43 Projeção das modalidades do atributo confortável/desconfortável dos três sons no primeiro plano fatorial.....	98
Figura 5.44 Projeção das modalidades do atributo estável/instável dos três sons no primeiro plano fatorial.....	98
Figura 5.45 Projeção das modalidades do atributo agradável/desagradável dos três sons no primeiro plano fatorial.	99
Figura 5.46 Projeção das modalidades do atributo intenso/não-intenso dos três sons no primeiro plano fatorial.	99
Figura 5.47 Projeção das modalidades do atributo irritante/não-irritante dos três sons no primeiro plano fatorial.	100
Figura 5.48 Projeção das modalidades do atributo aceitável/inaceitável dos três sons no primeiro plano fatorial.	100

Figura 5.49 Projeção das modalidades do atributo suportável/não-suportável dos três sons no primeiro plano fatorial.....	101
Figura 5.50 Projeção das modalidades do atributo perturbador/não-perturbador dos três sons no primeiro plano fatorial.....	101
Figura 5.51 Projeção das modalidades de todos os atributos dos três sons no primeiro plano fatorial.	102
Figura 5.52 Projeção das modalidades dos atributos irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador dos três sons no primeiro plano fatorial.	102
Figura 5.53 Projeção das modalidades dos atributos confortável/desconfortável, agradável/desagradável, aceitável/inaceitável, suportável/insuportável dos três sons no primeiro plano fatorial.....	103
Figura 5.54 Somatória das escolhas pelo som mais confortável, agradável, aceitável, estável e suportável.....	108
Figura 5.55 Somatória das escolhas pelo som mais irritante e perturbador.	109
Figura 5.56 Somatória das escolhas pelo som mais intenso.....	109
Figura 5.57 Porcentagem das ordenações dos sons para o conforto.	114
Figura 5.58 Porcentagem das ordenações dos sons para a aceitabilidade.	114
Figura 5.59 Porcentagem das ordenações dos sons para a agradabilidade.	115
Figura 5.60 Porcentagem das ordenações dos sons para a estabilidade.....	115
Figura 5.61 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidde.....	115
Figura 5.62 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidde.....	116
Figura 5.63 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidde.....	116
Figura 5.64 Porcentagem das ordenações dos sons para a intensidade.....	117
Figura 5.65 Diagrama em caixa comparativo do tempo de avaliação para cada método.....	117
Figura 5.66 Porcentagem da preferência por método	118
Figura 5.67 Projeção das medidas objetivas e subjetivas do som, obtidas com a ER, no primeiro plano fatorial.....	120
Figura 5.68 Projeção das medidas objetivas e subjetivas do som, obtidas com a EM, no primeiro plano fatorial.....	121

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Faixa de valores dos modelos psicoacústicos no interior de 16 aeronaves, determinados com o módulo <i>IDEAS</i> da <i>SGL Workstation</i> e <i>Artemis</i> da <i>HEAD-acoustic</i>	14
Tabela 3.1 Primeira proposta de redução do DS.....	42
Tabela 3.2 Segunda proposta de redução do DS.....	43
Tabela 3.3 Terceira proposta de redução do DS.....	43
Tabela 3.4 Proposta final de itens para estudo dos métodos.....	43
Tabela 5.1 Avaliações do item conforto na ER para os sons A, B e C.....	57
Tabela 5.2 Avaliações do item aceitabilidade na ER para os sons A, B e C.....	60
Tabela 5.3 Avaliações do item agradabilidade na ER para os sons A, B e C.....	60
Tabela 5.4 Avaliações do item suportabilidade na ER para os sons A, B e C.....	60
Tabela 5.5 Avaliações do item irritabilidade na ER para os sons A, B e C.....	62
Tabela 5.6 Avaliações do item perturbação na ER para os sons A, B e C.....	62
Tabela 5.7 Avaliações do item estabilidade na ER para os sons A, B e C.....	63
Tabela 5.8 Avaliações do item intensidade na ER para os sons A, B e C.....	64
Tabela 5.9 Tabela síntese de resultados significativos para o T Test.....	66
Tabela 5.10 Avaliações do item conforto para os sons A, B e C na EM.....	74
Tabela 5.11 Avaliações do item aceitabilidade na EM para os sons A, B e C.....	77
Tabela 5.12 Avaliações do item agradabilidade na EM para os sons A, B e C.....	77
Tabela 5.13 Avaliações do item suportabilidade na EM para os sons A, B e C.....	77
Tabela 5.14 Avaliações do item estabilidade na EM para os sons A, B e C.....	78
Tabela 5.15 Avaliações do item irritabilidade na EM para os sons A, B e C.....	79
Tabela 5.16 Avaliações do item perturbação na EM para os sons A, B e C.....	79
Tabela 5.17 Avaliações do item intensidade na EM para os sons A, B e C.....	80
Tabela 5.18 Tabela síntese de resultados significativos para o T Test.....	82
Tabela 5.19 Avaliações do item confortável/desconfortável no DS para os sons A, B e C.....	88
Tabela 5.20 Avaliações do item agradável/desagradável no DS para os sons A, B e C.....	90
Tabela 5.21 Avaliações do item estável/instável no DS para os sons A, B e C.....	90
Tabela 5.22 Avaliações do item aceitável/inaceitável no DS para os sons A, B e C.....	91
Tabela 5.23 Avaliações do item suportável/insuportável no DS para os sons A, B e C.....	91
Tabela 5.24 Avaliações do item irritante/não-irritante no DS para os sons A, B e C.....	92
Tabela 5.25 Avaliações do item perturbador/não-perturbador no DS para os sons A, B e C.....	93
Tabela 5.26 Avaliações do item intenso/não-intenso no DS para os sons A, B e C.....	93

Tabela 5.27 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais confortável nos três pares de sons.	104
Tabela 5.28 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais aceitável nos três pares de sons.	105
Tabela 5.29 Frequência e Porcentagem de respostas para a escolha do som mais suportável nos três pares de sons.	105
Tabela 5.30 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais agradável nos três pares de sons.	105
Tabela 5.31 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais estável nos três pares de sons.	105
Tabela 5.32 Frequência e Porcentagem de respostas para escolha do som mais irritante nos três pares de sons.	106
Tabela 5.33 Frequência e Porcentagem de respostas para escolha do som mais perturbador nos três pares de sons.	106
Tabela 5.34 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais intenso nos três pares de sons.	106
Tabela 5.35 Tabela síntese de resultados significativos para o Teste Binomial.	107
Tabela 5.36 Matriz de escolha para o som mais confortável (a).	110
Tabela 5.37 Matriz de escolha para o som mais confortável (b).	110
Tabela 5.38 Matriz de escolha o som mais confortável (c).	110
Tabela 5.39 Matriz de escolha para o som mais aceitável (a).	110
Tabela 5.40 Matriz de escolha para o som mais aceitável (b).	110
Tabela 5.41 Matriz de escolha o som mais aceitável (c).	110
Tabela 5.42 Matriz de escolha para o som mais agradável (a).	111
Tabela 5.43 Matriz de escolha para o som mais agradável (b).	111
Tabela 5.44 Matriz de escolha o som mais agradável (c).	111
Tabela 5.45 Matriz de escolha para o som mais estável (a).	111
Tabela 5.46 Matriz de escolha para o som mais estável (b).	111
Tabela 5.47 Matriz de escolha o som mais estável (c).	111
Tabela 5.48 Matriz de escolha para o som mais suportável (a).	111
Tabela 5.49 Matriz de escolha para o som mais suportável (b).	111
Tabela 5.50 Matriz de escolha o som mais suportável (c).	111
Tabela 5.51 Matriz de escolha para o som mais irritante (a).	112
Tabela 5.52 Matriz de escolha para o som mais irritante (b).	112
Tabela 5.53 Matriz de escolha o som mais irritante (c).	112
Tabela 5.54 Matriz de escolha para o som mais perturbador (a).	112
Tabela 5.55 Matriz de escolha para o som mais perturbador (b).	112

Tabela 5.56 Matriz de escolha o som mais perturbador (c).....	112
Tabela 5.57 Matriz de escolha para o som mais intenso (a).	112
Tabela 5.58 Matriz de escolha para o som mais intenso (b).	112
Tabela 5.59 Matriz de escolha o som mais intenso (c).....	112
Tabela 5.60 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para o conforto.....	114
Tabela 5.61 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a aceitabilidade.	114
Tabela 5.62 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a agradabilidade.....	115
Tabela 5.63 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a estabilidade.	115
Tabela 5.64 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidade.	115
Tabela 5.65 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a irritabilidade.	116
Tabela 5.66 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a perturbação.	116
Tabela 5.67 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a intensidade.	117
Tabela 5.68 Frequência e Porcentagem de preferência por método.	118
Tabela 5.69 Valores calculados para os modelos de <i>Fluctuation Strenght</i> (Intensidade de Flutuação), <i>Loudness</i> , <i>Roughness</i> , <i>Sharpness</i> (Agudeza) e Tonalidade com o software Artemis.....	119
Tabela 5.70 Correlação dos modelos psicoacústicos com os Fatores da Análise de Correspondências Múltiplas do DS.	122

Resumo

Nas últimas décadas, o transporte aéreo vem se tornando parte da vida diária da população, e este crescimento é acompanhado pelo desenvolvimento de novas aeronaves, as quais buscam satisfazer níveis de qualidade cada vez mais rígidos. Estas aeronaves devem apresentar características que atendam aos interesses das companhias aéreas em quesitos como desempenho e custo de operação, assim como garantir o conforto dos passageiros e da tripulação. Do ponto de vista do conforto dos passageiros e da tripulação de aviões comerciais, o ruído interno da aeronave destaca-se como ponto importante no projeto e desenvolvimento de novas aeronaves. Para contemplar o conforto acústico no interior de aeronaves é necessário que a percepção do ambiente sonoro seja interpretada e estudada adequadamente. A percepção do som e sua qualidade não são baseadas somente nos sinais físicos, mas também dependem de modalidades sensoriais e não sensoriais. As variáveis cognitivas e afetivas, tais como atitude, expectativas, significado e preferência são relevantes nesse processo de avaliação do conforto. Existem alguns pré-requisitos para construir um instrumento de avaliação que acesse esse fenômeno. Dentre os mais importantes, se destaca a seleção dos métodos. Métodos adaptados da psicofísica e de outras áreas de estudo vêm sendo utilizados para avaliação do som em diferentes situações. Este trabalho tem como objetivo principal verificar o desempenho de cinco métodos (Diferencial Semântico, Ordenamento, Estimativa de Magnitude, Escala de Resposta e Comparação Pareada) na avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves, apontando limitações referentes a essas avaliações em uma situação de laboratório, com sujeitos falantes do português do Brasil.

Abstract

In the latest decades, air transport is becoming part of the population daily life, and this growth is followed by the development of new aircraft which attempts to satisfy higher quality levels. These aircrafts must have characteristics that satisfy the air companies' interests over issues such as performance and operation costs, as well as guarantee comfort to the passengers and crew. Concerning the passengers and commercial aircraft crew comfort, the noise inside the aircraft stands out as an important issue. Considering the acoustic comfort inside the aircraft, the interpretation and study of the sound environment perception is necessary. The sound perception and its quality are not based only in physique signs, but also depend on other sensorial modalities and on non-sensorial factors. The cognitive and affective varieties, as attitude, expectations, meaning, and preference are relevant in this process of comfort assessment. When assessing the acoustic comfort inside the aircraft, there are some requirements to establish an assessment instrument. Among the most important, the method selection stands out. Adapted methods from psychophysics and other study areas have been used to assess the sound in different situations. This study has the main objective of verifying the performance of five methods (Semantic Differential, Rank Order, Magnitude Estimation, Paired Comparison and Rating Scales) in the assessment of acoustic comfort inside the aircraft, pointing out the limitations associated to these assessments in a laboratory situation with Brazilian Portuguese speakers.

Capítulo 1: Introdução

O som é um fenômeno multidimensional, assim como a sua percepção. Para estudar a sua natureza, é possível medir as características físicas de um sinal sonoro. Todavia, a caracterização física não nos informa como o sistema auditivo humano interpreta e quantifica esse sinal. Para que isso ocorra, uma medida direta da percepção humana do som deveria ser feita, o que não é possível.

Uma alternativa é a medição indireta, isto é, medir como as pessoas percebem o som solicitando às mesmas que qualifiquem e quantifiquem sua percepção e experiências referentes ao estímulo. Vários estudos associados à experiência adquirida mostram que avaliar um sentimento é um processo complexo e envolve muitas variáveis, como por exemplo: as expectativas, o significado, o bem estar na hora da avaliação, a motivação, a experiência e o conhecimento. Observa-se que todas essas variáveis são de caráter individual e subjetivo.

O processo de avaliação dos fenômenos vibro-acústicos baseado nos métodos físicos e psicoacústicos, conhecidos como métodos objetivos, não é totalmente capaz de avaliar as propriedades essenciais do estímulo acústico em termos de percepção e sensação para o indivíduo, por não incluir a possibilidade de qualificação e quantificação de variáveis cognitivas. Na compreensão dos aspectos afetivos e cognitivos relativos ao som, sistemas de avaliação comportamental tornam-se um excelente recurso ao processo de avaliação.

Os métodos de avaliação comportamental, definidos como métodos subjetivos no campo da engenharia e da audiolgia, são capazes de determinar as representações e julgamentos que as pessoas atribuem aos sons. Estes métodos, aplicados à construção de instrumentos de medida de percepção do som, melhoram o processo de julgamento dos sons. Na tentativa de acessar a preferência, gosto, apreciação e outros aspectos da qualidade que as pessoas fazem sobre o som, algumas técnicas e métodos são utilizados.

Classicamente existem três métodos psicofísicos: método dos limites, método dos ajustes e método do estímulo constante (Gelfand, 1988). No método dos limites, o estímulo fica sob controle do pesquisador e o sujeito simplesmente responde após cada apresentação do som. Este método é utilizado para a pesquisa do limiar absoluto do

indivíduo. No método dos ajustes quem controla é o sujeito, e a variação do estímulo é constante. O método do estímulo constante envolve a apresentação (pelo pesquisador) de vários níveis de estímulos apresentados em ordem aleatória, ou seja, o estímulo não é apresentado de maneira crescente ou decrescente de intensidade.

Existem muitas adaptações desses três métodos básicos para que as necessidades do pesquisador sejam contempladas. Procedimentos adaptativos são combinados com várias abordagens, considerando como o estímulo é apresentado e como as respostas são obtidas. Isso inclui formatos de respostas “sim/não”, escolhas obrigatórias entre duas ou mais alternativas, nas quais o indivíduo deve escolher entre uma delas, atribuição de notas ao estímulo com o uso e sem o uso de escalas, a avaliação do som com uso de escalas semânticas, entre outras.

Muitas abordagens têm sido introduzidas, as quais, além de modificar os métodos básicos, combinam procedimentos adaptativos em busca de resultados confiáveis para as avaliações comportamentais, aqui chamadas de subjetivas.

O intuito de estudar os métodos de avaliação subjetiva do ruído é estabelecer relações entre os sons apresentados e como eles são percebidos pelo sujeito, da melhor maneira possível.

Neste trabalho será apresentado o desempenho de cinco métodos de avaliação subjetiva do som. Diferencial Semântico (DS), Comparação Pareada (CP), Ordenamento, Escala de Resposta (ER) e Estimativa de Magnitude (EM), utilizados para a avaliação subjetiva de três sons do interior de uma aeronave comercial.

1.1 Justificativa e Relevância do Estudo

Nas últimas décadas, o transporte aéreo vem apresentando um crescimento sem precedentes, colocando-se como um dos meios de transporte de passageiros e cargas mais importantes (Quehl, 2001; Hooke, 2006). Esse crescimento é acompanhado pelo desenvolvimento de novas aeronaves, as quais buscam satisfazer níveis de qualidade cada vez mais rígidos. Estas aeronaves devem apresentar características que atendam aos interesses das companhias operadoras em quesitos como desempenho e custo de operação, assim como garantir o conforto dos passageiros e da tripulação. Estas características são muitas vezes conflitantes e apresentam-se como um grande desafio.

Do ponto de vista do conforto dos passageiros e da tripulação de aviões comerciais, o ruído interno da aeronave destaca-se como ponto importante no projeto e desenvolvimento de novos aviões. Para a tripulação, o conforto faz parte das condições de trabalho. Dessa forma, as estratégias de tratamento de ruído incluído em um avião devem estar altamente otimizadas, garantindo o conforto não apenas da tripulação, como dos passageiros. Para

que essas estratégias sejam alcançadas, é necessário que a percepção do ambiente sonoro pelo passageiro ou pela tripulação seja interpretada e estudada adequadamente.

Qualidade sonora é uma ciência nova, que vêm sendo estudada nas últimas décadas, com a função de estudar a percepção e adequação do ambiente sonoro, possibilitando uma melhor abordagem dessa problemática.

A literatura internacional, há algumas décadas, vem demonstrando a necessidade de uma atenção maior para com o conforto acústico no interior de aeronaves. Já os estudos nacionais em relação ao tema são poucos e mais recentes. A grande maioria, entre nacionais e internacionais, é baseada no uso de um ou outro método utilizado para tal fim.

No Brasil, recentemente foi feita uma pesquisa para verificar a relevância dos fatores vibro-acústicos no interior de aeronaves. Bitencourt e cols., (2006) apresentaram os resultados de uma pesquisa feita com questionários distribuídos por correio eletrônico. Os dados, provenientes de 52 indivíduos e coletados por meio dos questionários, foram tabulados e analisados com o intuito de criar categorias gerais sobre os aspectos relevantes para o conforto em uma viagem de avião. A partir da pergunta “Quais aspectos você considera importante para o conforto numa viagem de avião?”, os indivíduos fizeram mais de 180 comentários. Com os comentários foram criadas 17 categorias usando técnicas de análise de conteúdo, demonstrando as sinalizações da população em relação ao fenômeno conforto em uma viagem de avião. Os resultados podem ser visualizados na Figura 1.1.

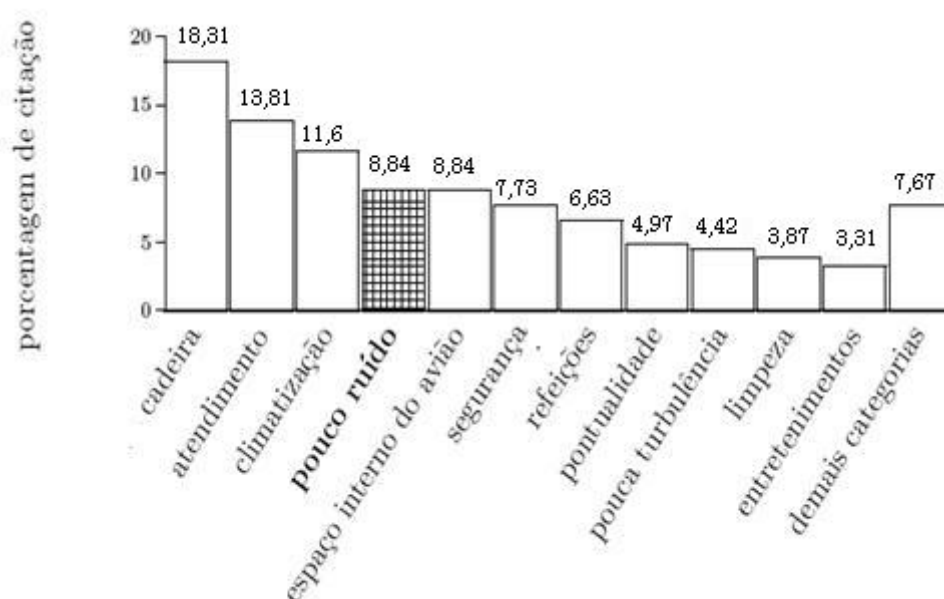


Figura 1.1 Atributos de conforto no interior de uma aeronave.

As cinco principais categorias foram: cadeira, atendimento, climatização, ruído e espaço interno da aeronave, correspondendo a 47,5% do total das respostas. O ruído ficou entre os cinco aspectos mais citados para o conforto. Apesar do número reduzido de participantes inviabilizar generalizações, estes resultados justificam novas pesquisas sobre os aspectos percebidos como determinantes para conforto ou desconforto em viagens de avião.

A relevância do presente estudo está em analisar cinco métodos para avaliação do conforto acústico, possibilitando a utilização destes na rotina de avaliação do ruído por diferentes profissionais.

A avaliação do conforto no interior de aeronaves se insere na área da ergonomia, uma vez que contribui não somente para o estudo do conforto dos passageiros, mas também daqueles que trabalham neste ambiente.

Diante dos fatos relatados, propõe-se na pesquisa reunir conhecimentos das áreas de fonoaudiologia, ergonomia, engenharia e psicologia, com o objetivo de verificar o desempenho de cinco métodos para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar o desempenho de cinco métodos para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Definir a semântica necessária para estudar o ruído no interior de aeronaves;
- Desenvolver uma interface (software) para operacionalização dos ensaios com os métodos para avaliação subjetivos do conforto;
- Verificar as vantagens e desvantagens do uso dos métodos para a avaliação do conforto acústico do interior de aeronaves;
- Correlacionar as características psicoacústicas dos sons e as avaliações subjetivas realizadas.

1.2.3 Originalidade e Contribuição da Pesquisa

Com o crescimento da atenção dispensada aos efeitos do ruído no Brasil e a posição altamente competitiva das indústrias, tornam-se necessários estudos sobre a qualidade

sonora, incluindo aqueles vinculados ao desenvolvimento de instrumentos psicométricos para medir o conforto acústico nos mais variados produtos. A simples tradução dos instrumentos de medida já desenvolvidos para estes fenômenos causam alguns impasses, como, por exemplo, na compreensão dos descritores utilizados.

Pesquisadores mostram-se preocupados com o conforto da tripulação e passageiros, enfatizam recomendações, mas não apontam qual(is) método(s) deve(m) ser utilizados para melhor caracterizar a percepção das pessoas sobre o ruído no interior de aeronaves.

A proposta deste trabalho é estudar a semântica apropriada para as avaliações subjetivas e posterior adaptação desta em cinco métodos para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

O componente inédito desta pesquisa reside na verificação do desempenho de cada um desses cinco métodos subjetivos. Esta verificação, adicionada ao estudo da semântica em português falado no Brasil para avaliação subjetiva do ruído no interior de aeronaves, irá contribuir para futuras pesquisas vinculadas ao tema.

O desenho deste trabalho abrange o estudo da semântica, desenvolvimento de instrumentos de avaliação subjetiva do ruído, medições com técnica biauricular do ruído em voo real, aplicação dos instrumentos de avaliação em voo, coleta de dados em ambiente controlado dentro do laboratório (simulador), análise dos dados e contemplação dos resultados, podendo ser aplicado em outras áreas da indústria, compondo assim o contexto original.

A identificação dos métodos adequados e/ou problemas relacionados com cada um dos métodos, visando ao conforto auditivo, e não apenas à redução do nível de pressão sonora, estabelecida a partir de referenciais teóricos de vários campos do conhecimento, fornece a contribuição científica adicional a este problema. Desta forma, possibilita o acesso aos profissionais das áreas de fonoaudiologia, ergonomia, psicologia e engenharia, que participam das ações relacionadas ao conforto acústico do interior de aeronaves.

A inovação decorrente deste estudo será a adaptação de métodos já utilizados em outras áreas do conhecimento, e em outras línguas, para o português do Brasil. Considera-se inovação a verificação do desempenho desses cinco métodos, apontando os pontos positivos e negativos de cada um para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

Capítulo 2: Revisão de Literatura

A revisão de literatura mostra o caráter interdisciplinar presente no tema escolhido e, com o intuito de situar o leitor no assunto, inicia com a descrição dos conceitos básicos da psicoacústica, seguidos da descrição da percepção do som. Apresenta a qualidade sonora como uma nova ciência, os modelos psicoacústicos e a descrição das avaliações subjetivas. Ainda aborda conceitos de conforto e ergonomia e, principalmente versa sobre os métodos de avaliação subjetiva que serão utilizados neste trabalho.

Em seguida, apresentam-se as pesquisas aplicadas na área do conforto acústico no interior de aeronaves, além de outros estudos interessantes que serão utilizados no futuro para justificativa de escolhas e discussão deste trabalho.

2.1 Conceitos Básicos de Psicoacústica

O termo psicoacústica envolve a descrição e o modelo da audição humana. É uma ciência que emprega funções matemáticas com o objetivo de extrair as características das dimensões auditivas específicas (*loudness*¹, *agudeza*) a partir de parâmetros físicos (pressão sonora, frequência entre outros). Essas dimensões formam as características do som. Com o envolvimento dos processos neurais, utilizando a memória, as experiências vividas e aprendidas e principalmente o que se espera, a qualidade do som pode ser julgada e sua contribuição para o conforto pode ser avaliada (Vörlander, 2007). Entretanto, para avaliar o conforto do som, o contexto do evento sonoro e as experiências devem ser considerados (Blauert, 2005).

Ao classificar um som como forte ou fraco e baixo ou alto, as pessoas em seu dia a dia estão julgando o *loudness* de fontes sonoras, e esse julgamento é afetado pela aparente distância da fonte sonora, o contexto que é ouvido, a natureza do som e assim por diante (Moore, 1982).

A psicoacústica origina da psicofísica. Um dos marcos inicial foi a generalização da lei de Weber e Fechner que aborda sobre o limiar de sensação auditiva (Humes, 1999).

¹ Não se encontrou nenhum termo em português adequado para substituir *loudness*. A palavra “*volume*”, em português, pode significar intensidade, o que indica que *loudness* poderia ser traduzido por volume. Todavia, em inglês volume pode ser “*the intensity of a sound*”. Porém, caso se considere que o volume percebido pode mudar mesmo mantendo-se o mesmo nível de intensidade sonora, como no fenômeno da adaptação, então se pode diferenciar os termos “volume”, que seria o que é efetivamente escutado, no que se refere à percepção da intensidade do som e “*loudness*” o modelo psicoacústico (Leite, 2006).

Os primeiros estudos sobre o processo de percepção humana têm datas bem antigas. Ernst Heinrich Weber foi um dos pioneiros nesse campo, realizando estudos sobre a menor diferença perceptível entre dois estímulos similares. Alguns anos depois, Gustav Theodor Fechner utilizou os resultados de Weber associando-os com variações nas sensações. Uma consequência direta da lei de Weber-Fechner foi o grande interesse em aplicá-la a todos os sentidos humanos. Com relação à sensação auditiva, a escala decibel foi introduzida na área, dado o fato de a sensação ser uma função do logaritmo do estímulo (Lima, 2005).

A psicoacústica, então, interessa-se por investigar pequenas diferenças percebidas no som, podendo submeter indivíduos a inúmeros testes para investigar essas diferenças sutis. Esta ciência estuda a percepção subjetiva das qualidades (características) do som: intensidade, tom e timbre. Estas qualidades (ou características do som) são, por sua vez, determinadas pelos próprios parâmetros do som, principalmente frequência e amplitude. Ela também busca construir modelos que auxiliem na compreensão das reações do estímulo físico junto ao organismo (Roederer, 1998). Os principais modelos acústicos que dizem respeito aos aspectos relacionados à avaliação de qualidade sonora serão apresentados no item 2.1.4.

Vista como ciência, a psicoacústica se insere num campo interdisciplinar, com o objetivo de “avaliar quantitativamente” as sensações subjetivas produzidas na exposição ao som, estruturando um conhecimento voltado para as “correlações” entre o estímulo acústico e as sensações auditivas (Roederer, 1998; Leite, 2006).

2.1.1 Percepção do som

A ampla faixa de sensibilidade da orelha é um dos aspectos que mais se destaca na audição e mesmo que medidas da audição possam ser influenciadas por uma série de fatores extra-auditivos, um desenho confiável da sensação auditiva foi desenvolvido por pesquisadores através dos anos (Gelfand, 1998).

O ser humano, muitas vezes de forma implícita, caracteriza e avalia estímulos sonoros ao qual ele é exposto, categorizando o meio em que se encontram. Assim são feitos os julgamentos subjetivos (Suter, 2002). O uso de instrumento de medida permite acessar essas informações para caracterizar o estímulo de interesse.

Alonso e Finn (1972) relacionam o conceito de som com a sensação da audição. Sempre quando uma onda elástica, propagando-se através de um gás, líquido ou um sólido, atinge o ouvido, acaba produzindo vibrações na membrana do tímpano. Essas vibrações provocam uma resposta dos nervos, constituindo o processo conhecido como audição. Porém, nosso sistema nervoso produz uma sensação de audição apenas na faixa de frequências entre 16Hz e, aproximadamente, 20kHz. Fora destes limites as ondas sonoras

não são audíveis, mas continuam sendo chamadas de som (ultra e infra). A posição da orelha interna permite que o impulso elétrico chegue rapidamente ao cérebro, o que possibilita a rápida interpretação e, conseqüentemente, menor tempo de reação ao estímulo sonoro.

O sistema auditivo é capaz de discriminar pequenas diferenças entre vários estímulos, sejam eles similares ou não. Esta habilidade se aplica a três parâmetros: intensidade, frequência e duração (Gelfand, 1998).

A influência da cabeça e do corpo também contribui na percepção do som, considerando a reflexão e absorção. Dentro desse contexto, os ombros e o torso ocupam importante papel. O torso, por meio da difração, age como um filtro direcional com amplificação de aproximadamente 3 dB dependendo da direção incidente do som. Os ombros podem causar variações em torno de 5 dB em frequências abaixo de 1500 Hz. A cabeça também contribui para a maior parte das variações, sendo fortemente influenciadas pela direção da fonte. Neste caso, variações próximas a 15 dB podem ocorrer (Fastl e Zwicker, 2007).

O processo de percepção sonora possibilita, além da localização espacial, a supressão de sons “não desejáveis” e a capacidade do sujeito se concentrar em sons que vêm em uma determinada direção. Pode-se afirmar que o nível de pressão sonora não possui uma relação linear com a percepção subjetiva da intensidade do som e, assim, o sinal gravado de apenas um microfone não é capaz de representar essa não linearidade, e a sensação de *loudness* não pode ser corretamente descrita (Lima, 2005).

2.1.2 Considerações sobre Audição Biauricular

O termo audição biauricular diz respeito ao nosso sentido da audição, capaz de obter informações de comparações do sinal acústico por meio das duas orelhas. Possibilita encontrar a direção da fonte sonora e a detecção do som em diferentes condições. Comparar o sinal que chega a uma orelha com o sinal na outra orelha é útil porque geralmente os detalhes do som que chegam a uma orelha são diferentes daqueles que chegam à outra orelha (Akeroyd, 2006).

A gravação e reprodução biauricular constitui a base para a tecnologia de análise de qualidade sonora, permitindo uma gravação autêntica de situações sonoras e possibilitando uma reprodução destas situações quando necessário (Genuit, 2002).

A utilização convencional de microfones apresenta limitações quando o campo sonoro é gerado por mais de uma fonte distribuída no espaço. Microfones não são capazes de captar

a impressão que este evento sonoro produz no sistema auditivo do homem, ou seja, não mostram todas as características relevantes do som (Hammershøi e Møller, 2005).

O sistema auditivo humano é bastante sofisticado e tem como característica importante a existência de duas entradas para a captação do sinal, as orelhas. Este conjunto possui alta resolução espacial, suscetibilidade para estruturas temporais e espectrais do som e é seletivo, possibilitando priorizar um determinado evento sonoro frente a outros concorrentes (Colburn, 2008).

Assim, tentando reproduzir e modelar essas características da audição humana nasceu a tecnologia biauricular (*binaural technology*). Esta compreende sistemas de medição, gravação, análise e, caso necessário, reproduções biauriculares que objetivam reproduzir eventos sonoros com alta fidelidade.

Todos os sistemas de gravação biauricular captam o som por dois microfones posicionados nas orelhas ou bem próximos a elas. Estes sistemas consistem basicamente na imitação do sistema auditivo humano. Na Figura 2.1, têm-se duas cabeças artificiais e um equipamento portátil de gravação biauricular.



Figura 2.1 Sistemas de gravação biauricular.

Os fenômenos físicos que determinam as transferências do som na cabeça são as difrações, reflexões e ressonâncias causadas pelos elementos acusticamente relevantes como a própria cabeça, torso, ombros, condutos auditivos, orelhas, tímpano, etc.. Qualquer

alteração em um desses elementos pode modificar essa função de transferência e provocar uma impressão auditiva diferente da realidade (Lima, 2005).

2.1.3 Qualidade Sonora

Durante muito tempo, as pesquisas no campo de acústica abrangiam basicamente a redução do nível de pressão sonora emitido por um produto. Entretanto, nas últimas décadas, a atenção mudou para os aspectos da qualidade do som resultante do produto (Bodden, 1997).

Blauert e Jekosch (1997) definem a qualidade sonora como um descritor da adequação do som de um produto. Ela resulta dos julgamentos sobre a totalidade das propriedades auditivas do som, sendo que estes julgamentos têm como referência o conjunto de características desejadas para o produto e que são perceptíveis para o usuário na sua real situação cognitiva e emocional, dependendo também das atividades do sujeito no momento da avaliação do produto. Pesquisas em qualidade sonora estudam os aspectos vibro-acústicos, tomando decisões baseadas na percepção das pessoas para a melhoria destes, vinculando assim as áreas de engenharia, audiologia e psicologia (Schulte-Fortkamp, 2003; Bitencourt e cols., 2006).

Trabalhos em qualidade sonora buscam a melhoria da “sonoridade dos produtos”, mas voltam-se também para a compreensão das características do *design* acústico, visto como um diferencial competitivo nas disputas de mercado industrial (Leite, 2006).

Muitos fatores podem afetar a qualidade sonora de um produto. Tais fatores podem estar relacionados com o grau de exigência, ansiedade, motivação, classe social, sexo e aspectos emocionais do indivíduo (Björk, 1985; Blauert e Jekosch, 1997; Quehl, 2001; Västfjäll e cols., 2002; Västfjäll e cols., 2003(a); Lima 2005)

A sensação auditiva é definida como um processo ativo relacionado à recepção, busca e interpretação do estímulo (Guski, 1997), o que sugere que tanto os fatores subjetivos quanto objetivos determinam a percepção de eventos sonoros (Genuit, 1992). Uma variedade de fatores não-relacionados à audição influencia o incômodo causado pelo ruído e isso é, no mínimo, tão importante quanto os parâmetros físicos (Vallet, 1987; Job, 1988). Dois grupos de fatores não-relacionados à audição com importância na psicoacústica são apontados (Västfjäll e cols, 2003(a)):

- a) Variáveis pessoais – incluindo sensibilidade, atitude e características individuais;
- b) Variáveis situacionais ou contextuais – incluindo trabalho, moradia, exposição ao som, hora do dia, etc.

Assim, pode-se observar que os fatores que afetam a percepção sonora podem ser bastante abrangentes.

A qualidade sonora de um produto pode ser definida como uma espécie de “impressão digital” do som (Västfjäll e cols., 2003 (a)) sendo que por meio dela é possível detectar todas as suas características.

Bowen e Lyon (2003) afirmaram que muitas das características de um produto estão relacionadas fortemente com as percepções e, principalmente, com as expectativas que os clientes têm para com o produto. Assim, é natural que se espere um determinado tipo de som para um determinado tipo de produto. Se um produto não “soa” como o esperado, seu grau de aceitabilidade diminui e sua “qualidade é mais baixa”. Um exemplo da qualidade sonora para o interior da aeronave é que esta contempla a preservação de ruídos e vibrações necessárias, uma vez que os passageiros já estão acostumados a eles e, ruídos normais acabam sendo associados a questões como segurança. Porém, se um produto é diferente (ou inovador), a experiência mostra que um novo som pode se tornar aceitável. Com isso, nem sempre a redução do ruído causa necessariamente melhora na sua qualidade sonora.

Comparando estudos sobre a qualidade sonora de diferentes tipos de produtos, observa-se que as exigências do consumidor variam de acordo com o produto ou até com as fontes sonoras do produto, como no caso de produtos complexos como uma aeronave.

Na área da aviação civil, os estudos relacionados à vibro-acústica no interior das aeronaves sempre partiram de preocupações com a saúde da tripulação. Por exemplo, Sundback e Tingvall (1980) destacam fatores como desempenho, fadiga da tripulação e segurança em voo.

2.1.4 Modelos Psicoacústicos

Relações que envolvem o processo de percepção auditiva são bastante complexas (Blauert e Jekosch, 1997) e o nível de pressão sonora (SPL) não é suficiente e nem adequado para representar corretamente as sensações auditivas (Janssens e cols., 2006). Dessa forma, a única alternativa consiste em avaliar o som através de júri.

Como os ensaios com júri envolvem tempo, custos e os resultados possuem grande dispersão, foram criados os modelos objetivos. O modelo (p.ex., o *loudness* calculado através dos métodos de Stevens ou Zwicker) possui a função de substituir os ensaios com júri, eliminando assim as desvantagens destes (Lima, 2005).

Cabe ressaltar que os modelos psicoacústicos são úteis para a caracterização do ambiente sonoro e da percepção dos mesmos, mas não são suficientemente precisos nem abrangentes para todo tipo de fenômeno.

2.1.4.1 Loudness

É o modelo mais comum. O *loudness* refere-se à percepção da intensidade do som. A unidade do *loudness* é o sone. Um sone é definido como o som provocado por um tom puro de 1kHz com NPS de 40 dB em campo livre. A escala sone é linearmente relacionada à sensação auditiva, tornando-a de interpretação mais fácil. Um som duas vezes mais alto que outro possui o dobro do valor de *loudness* original (Vörländer, 2007).

2.1.4.2 Agudeza (*Sharpness*)

Os sons percebidos como estridentes ou agudos possuem no seu espectro muitos componentes de alta frequência. Para se medir esta sensação, criou-se a agudeza, um modelo útil em avaliações de timbre. Quanto maior for a proporção de altas frequências no sinal, maior será a sua agudeza. Um dos modelos para o cálculo da agudeza é o proposto por Von Bismarck, que utiliza uma curva de ponderação que dá uma maior importância às frequências mais altas (Lima, 2005). Diferente desse modelo o modelo de Aures, por sua vez, considera menos o volume (Paul, 2009).

Em geral, sons com menor agudeza são preferidos (Fastl, 1997; Champagne e Amman, 1995). A unidade da agudeza é o acum. A agudeza de um ruído de banda estreita de 1 kHz e nível de 60 dB, é definida como 1 acum (Fastl e Zwicker, 2007).

2.1.4.3 Intensidade de flutuação (*Fluctuation strength*)

A intensidade de flutuação está relacionada com a percepção de flutuação no nível do som ou irregularidades que podem ocorrer devido à modulação do sinal para frequências de 1 a 20 Hz. Nessa faixa de frequência o som é percebido como uma variação de volume (amplitude) ao longo do tempo. Tipicamente um som com essa característica tende a ser percebido mais forte do que um som contínuo com a mesma amplitude. A unidade utilizada para representar a intensidade de flutuação é o vacil. Frequências de modulação de 4 Hz são mais sensíveis ao ouvido humano. Sirenes de ambulância possuem uma frequência de modulação de 4 Hz (Lima, 2005; Fastl e Zwicker, 2007).

2.1.4.4 Roughness

É a sensação de modulação percebida entre 15 e 300Hz do sinal sonoro. Não há um limite rigoroso entre a intensidade de flutuação e o *Roughness*². Quanto maior o grau de

² Em alguns estudos encontra-se a tradução de *Roughness* para aspereza (Lima, 2005; Leite 2006). No entanto, Paul (2009) chama a atenção para o fato de no Brasil, o significado de aspereza ser diferente do significado de *rough* (que descreveria a impressão de modulação rápida).

modulação, maior será o *Roughness*, o que é válido para sons de banda estreita e larga (Fastl e Zwicker, 2007). Sua unidade é o asper. O *Roughness* de um tom senoidal de 1 kHz e nível de 60 dB, modulado em amplitude numa frequência de 70 Hz e fator de modulação 1, é definido como 1 asper (Fastl e Zwicker, 2007).

2.1.4.5 Tonalidade (*Tonality*)

A tonalidade é um descritor do grau em que um som é percebido como tonal. A tonalidade pode ser avaliada pela capacidade que um som tem de provocar a sensação de um tom, pela presença de tons proeminentes ou pelo grau de similaridade desse som com um tom puro (Fastl e Zwicker, 2007).

Há vários métodos de se calcular a tonalidade (Hastings e cols., 2003), mas o principal, o modelo de tonalidade de Aures, é baseado na avaliação subjetiva de tons puros e de ruídos filtrados em banda. Este modelo usa uma função de ponderação para a largura de banda, outra para a frequência central e outra para a proeminência (Aures, 1985).

2.1.4.6 Outros modelos

Como nem sempre os modelos acima podem representar com a exatidão necessária um fenômeno sonoro, geralmente recorre-se aos modelos específicos para um determinado produto. Tais modelos são obtidos geralmente através da combinação de outros modelos e índices, baseando-se em métodos empíricos e utilizando grandes quantidades de dados gerados através de avaliações subjetivas por sessões de júri.

Entre alguns dos índices mais utilizados, destacam-se (Otto e cols., 2001):

- Nível de alta frequência - High Frequency Level (HFL) – avalia o conteúdo espectral acima de 1 kHz;
- Fator de crista e Kurtose – utilizado para ruídos impulsivos;
- Harshness, Rumble, Muddiness – utilizados quando se desejam representar componentes tonais do espectro;
- Gradiente harmônico – alguns parâmetros acústicos relacionados ao sentimento de “esportividade” e “prazer acústico” podem ser interessantes para o desenvolvimento de modelos para determinados tipos de produtos. Estudos indicaram que parâmetros mensuráveis relacionados ao gradiente harmônico de componentes tonais podem ser associados a esses sentimentos;
- Índices de inteligibilidade de fala – em várias aplicações a qualidade sonora de um produto está associada diretamente com a interferência provocada na fala. Existem uma série de parâmetros que podem representar esse fator, tais como: índice de articulação,

Preferred Speech Interferation Level (PSIL), Speech Transmission Index (STI), Rapid Speech Transmission Index (RASTI).

Alguns valores dos modelos psicoacústicos encontrados no interior de aeronaves estão apresentados na Tabela 2.1 e serão utilizados como referência, para situar o leitor, quando estes forem calculados no Capítulo 5.

Tabela 2.1 Faixa de valores dos modelos psicoacústicos no interior de 16 aeronaves, determinados com o módulo *IDEAS* da *SGI Workstation* e *Artemis* da *HEAD-acoustic*.

modelos	faixa de valores
NPS(dBA)	52-81
Roughness [asper]	0,1-0,9
Sharpness [acum]	0,29-1,88
Tonality	0,01-0,79
Fluctuation Strength [vacil]	0,08-0,92
Loudness [soneG]	42-96

Fonte: Västfjäll e cols, 2003(b).

2.1.5 Avaliações Subjetivas

De acordo com o dicionário Aurélio (Ferreira, 1999), o termo subjetivo significa a manifestação apenas das idéias ou preferências da própria pessoa (algo pessoal, individual). Partindo dessa definição, pode-se verificar que analisar as informações auditivas percebidas pelos sujeitos é uma tarefa complexa, uma vez que existe grande variação nos resultados. Para tentar contornar algumas das variáveis que podem sustentar esta variância, alguns cuidados devem ser tomados e serão descritos a seguir.

2.1.5.1 Ambiente do ensaio

O aspecto visual em ensaios de qualidade sonora foi estudado e foi comprovado que a percepção auditiva pode ser afetada pelo cenário em que o som é reproduzido (Hashimoto e cols, 2001). Dessa forma, Quehl (2001) coloca que o julgamento do conforto de uma aeronave em função do ruído interno e da vibração deve ser realizado com um aparato experimental que simule, tanto quanto possível, a realidade.

Caso se deseje avaliar sons que contenham frequências muito baixas, os fones de ouvido não são suficientes, já que não se percebem essas frequências apenas pelos ouvidos, mas também pelo corpo. Deve-se então estudar o uso de um *subwoofer* (Bodden, 1997). Heinrichs e Bodden (1999) destacam que todos os parâmetros não acústicos devem ser mantidos constantes para todos os sujeitos.

2.1.5.2 Sujeitos de teste

A escolha de sujeitos, a quantidade e o local onde serão avaliados os sujeitos é essencial para os testes subjetivos. Devem-se levar em conta fatores demográficos, além da experiência neste tipo de teste e a familiarização do sujeito com o produto que está sendo testado. É importante que o sujeito seja um consumidor em potencial do produto testado. Deve-se usar um conjunto de sujeitos que representem a população, considerando a idade, sexo, situação econômica, etc. (Otto e cols., 2001).

Por outro lado, Leatherwood e cols. (1990) afirmam que a idade e o sexo não têm influência significativa prática na pesquisa de qualidade sonora. Um importante ponto é definir quantas pessoas darão um resultado estatisticamente representativo, ou seja, para um teste com N sujeitos, o resultado deveria ser o mesmo se feito com $2N$ ou $10N$ sujeitos.

Otto e cols. (2001) afirmam que, baseados nas suas experiências, pode-se usar de 25 a 50 sujeitos no caso de serem funcionários da empresa. Considerando a possibilidade de casos omissos, deve-se sobreestimar a população a ser investigada. Caso se utilize consumidores, são necessários entre 75 e 100 participantes, sendo que eles apresentam um nível de variabilidade maior nas suas respostas, além de haver um não comparecimento ao teste de cerca de 20%. Em geral, um maior número de participantes é melhor, mas existe a limitação do tempo. Para testes mais complexos, necessita-se treinar mais os sujeitos, o que limita o seu número muitas vezes a menos de 10, aumentando também a variabilidade dos resultados.

O nível de treinamento dos sujeitos vai depender da complexidade do teste. Para tarefas simples, como escolher o som preferido entre dois ou classificar certos atributos sonoros, apenas uma familiarização é recomendada. Quanto mais um sujeito for exposto à tarefa, melhor será o seu desempenho (Otto e cols., 2001).

2.1.5.3 Preparação dos sons

Durante os testes subjetivos, deseja-se que o sujeito ouça o som original como se estivesse diante da fonte que o produziu. Para isso, costuma-se usar a gravação binaural. As gravações digitais são o meio mais utilizado em qualidade sonora, pela alta faixa dinâmica e pelo baixo custo de armazenamento dos dados. Certos cuidados devem ser tomados, como fazer todas as gravações usando a mesma equalização, o que evitará o uso de compensações por software ou hardware na hora da reprodução (Otto e cols., 2001).

A amostra de som a ser utilizada nos testes com júri deve ter no mínimo dez segundos, para possibilitar o cálculo dos parâmetros psicoacústicos (Paul, 2009). Se ela for de um evento transiente, deve-se repeti-la várias vezes. Quando não se deseja avaliar o *loudness*, deve-se torná-lo igual em todas as amostras, de forma que os sujeitos concentrem a atenção em outras características sonoras (Otto e cols., 2001, Gerges e cols.,

2008)

Gerges e cols., (2008) concluíram em um estudo de comparação do ruído do interior de aviões, que a equalização do *loudness* é uma importante ferramenta para alcançar informações mais detalhadas do som pela avaliação com pessoas, mas que essas são mais consistentes na avaliação de sons não equalizados. Esses resultados também foram encontrados por Buss e cols., (2007).

2.1.5.4 Preparação dos Ensaios

Para a preparação dos ensaios, a literatura aponta alguns cuidados a serem seguidos. Primeiramente na escolha do método de avaliação subjetiva do som. Um bom método é definido por Levitt (1971) como sendo altamente eficiente e relativamente livre de viés.

A adaptação de métodos convencionais pode apresentar algumas vantagens, como alta eficiência, maior flexibilidade e menores restrições. Embora a alta eficiência seja uma das maiores vantagens dos métodos adaptativos, Levitt deixa claro que não existe nenhum método que seja o melhor para todas as situações. Cada método ou técnica tem seus próprios méritos e falhas. Métodos que são altamente eficientes na teoria são normalmente mais complexos. Na psicoacústica, em que a duração do ensaio é limitada, se faz necessário um grupo de métodos e técnicas flexíveis que sejam facilmente adaptáveis às exigências do experimentador (Levitt, 1971).

Para a construção do instrumento de avaliação, Pasquali (1997) sugere que seja feita a análise teórica dos itens³, feita por juízes (especialistas no assunto) e com o objetivo de estabelecer a compreensão dos itens. Dentro dessa análise teórica, está a de conteúdo, em que os juízes devem ser peritos na área do construto, pois objetiva verificar se os itens estão se referindo ou não ao estudo em questão.

Na elaboração dos itens, Pasquali (1997) refere os vieses de resposta, os quais falseiam dados, e apresenta as causas de erros de respostas como sendo a cultura, a resposta ao acaso e a resposta estereotipada.

A cultura se relaciona ao problema da transferência (tradução) de instrumentos para outras populações para as quais eles não foram especificamente construídos. A simples tradução dos instrumentos de medida já desenvolvidos para estes fenômenos causam alguns impasses, como, por exemplo, na compreensão dos descritores utilizados (Schulte-Fortkamp, 2003; Yu e Kang, 2006; Paul e cols., 2008). Portanto, Paul e cols., (2008) sugerem que, para o desenvolvimento de instrumentos no português do Brasil, seja feito um

³ A terminologia em Ciência infelizmente não é uniforme. Por isso é útil conceituar alguns termos. Atributo: propriedade, qualidade, aspecto, componente do objeto. Ele é caracterizado por ser mensurável. Item: expressão da representação comportamental do construto. Construto: objeto psicológico para o qual se quer desenvolver um instrumento de medida (Pasquali, 1997).

estudo da semântica antes de se iniciar o processo de avaliação subjetiva da qualidade sonora com sujeitos brasileiros. Günther e cols. (2007) estão desenvolvendo um estudo exploratório, em português do Brasil, para a versão brasileira da escala de desconforto do ruído ICBEN⁴, mas até o momento estes descritores não foram validados.

Os fatores que induzem a resposta ao acaso não são determináveis. Tal ocorrência pode ser devida a inúmeros fatores não sistemáticos como a má disposição do sujeito em responder o teste, a incompreensão das instruções, a sua atitude de zombaria e outros. A resposta estereotipada trata-se de erros ou de respostas tendenciosas devido às peculiaridades do sujeito que responde (Pasquali, 1997).

Sobre a ordem de apresentação dos sons, a falta de cuidado neste quesito pode introduzir erros sistemáticos ao processo de avaliação e levar a resultados errôneos. A duração do ensaio é um fator importante a ser considerado na medida em que a fadiga do júri tende a aumentar com esta. Ensaio muito longo produz resultados menos discriminativos e/ou mais dispersos. O ideal é que a duração máxima dos ensaios não seja superior a 45 minutos (Leite e Paul, 2006).

2.1.5.5 Adaptação de *Loudness*

É uma propriedade de todos os sistemas sensoriais que a exposição a estímulos de duração e intensidade suficientes produzam mudanças na resposta do sistema (Gelfand, 1988). Em geral, para o sistema auditivo, essas mudanças são menores quando comparados com os outros sentidos (Moore, 1982). Hood (1950) diferenciou adaptação auditiva e fadiga auditiva (alteração temporária do limiar auditivo por longa exposição sonora). A adaptação auditiva tem como sua característica o processo do equilíbrio. A resposta estável para o estímulo diminui em função do tempo até que a percepção atinja um nível estável em que a energia gasta é balanceada pela energia metabólica, a qual se torna disponível para sustentar a resposta (Moore, 1982). Em outras palavras, a adaptação de *loudness* é a diminuição da percepção do som nos primeiros minutos de apresentação do estímulo sonoro. Essa adaptação é bem documentada para tons puros em Gelfand, (1998) e Moore, (1982).

Helman e cols., (1997) em seus estudos encontraram a maior parte da adaptação dentro dos três primeiros minutos de exposição ao som, mas a percepção do volume continuou a diminuir até seis minutos. Outros estudos (Carterrette, 1955; Carhart, 1957; Hashimoto, 2002) resultaram em divergentes respostas e com isso um tempo exato de adaptação ainda não pode ser estimado.

⁴ ICBEN -International Commission on Biological Effects of Noise (Comissão Internacional dos efeitos biológicos do ruído. Disponível em: www.icben.org

2.2 Estudos de ergonomia e conforto relacionados ao ruído no interior de aeronaves

Uma primeira análise da literatura sobre o conforto dos últimos 30 anos revelou uma abundância de estudos de modelos técnicos e ergonômicos. A maioria destes foi dedicada ao desenho do assento ou ao conforto do assento. Muitos estudos sobre o conforto de veículos, além de abordar sobre os aspectos físicos, também foram estendidos para descrever a sensação do conforto quando interagido com outros aspectos do ambiente.

De acordo com algumas das abordagens ergonômicas, definições do conforto seguidamente enfatizam um conceito multidimensional, o qual é influenciado por muitos fatores e não representa somente o antônimo de desconforto. Pineau (1982) definiu o conforto como um estado de bem estar sob ótimas condições e Quehl (2001) como um estado psicológico de bem estar induzido por condições otimizadas, apesar de achar que este é um termo de difícil definição.

A definição de ergonomia contempla o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos concebidos com o propósito de oferecer o máximo de conforto, segurança e eficácia (Wisner, 1987).

Outra definição, dada pela Associação Brasileira de Ergonomia – ABERGO, (2000) refere como o estudo das interações do homem com o trabalho, máquinas, equipamentos e meio ambiente, visando melhorar a segurança, conforto e eficiência das atividades humanas. Estudos sobre o conforto acústico no interior de aeronaves são apresentados também dentro da área da ergonomia.

O conforto em passageiros de veículos é determinado por aspectos do ambiente físico e social assim como as características de cada passageiro. A maioria dos estudos sobre conforto de passageiros diz respeito aos parâmetros físicos do meio de transporte. O ruído interno e a vibração aparecem entre os principais fatores físicos. Em aeronaves, ambos ruído e vibração são citados como os de maior importância para o nível de conforto percebido (Quehl, 2001) .

Estudos visando o entendimento dos fatores que afetam o conforto ou desconforto, incluindo o vibro-acústico experimentado pelos passageiros, foram desenvolvidos apenas recentemente nos projetos Identificação de um índice de conforto em passageiros de avião (IdEA - PACI)⁵ e Ambiente amigável na cabine de avião (FACE)⁶. Ambos os projetos foram

⁵ IdEA – PACI-Identification of an Aircraft Passenger Comfort Index - <http://www.idea-paci.org/>

⁶ FACE – Friendly Aircraft Cabin Environment – <http://face.aeronautica.alenia.it/>

desenvolvidos na Europa e são, portanto, representativos apenas para os usuários europeus.

O projeto IdEA-PACI teve como primeiro passo um estudo psicoacústico para identificar os descritores e desenvolver um instrumento que traduzisse as solicitações do ambiente e as impressões subjetivas. Investigações experimentais em voo e em laboratório foram feitas para prever o nível de conforto e identificar os principais parâmetros físicos que afetam o conforto dos passageiros. Os testes realizados apontaram os diferentes parâmetros que contribuem para definir o status do conforto dos passageiros. Os autores concluíram que tais ensaios possuíam limitações por terem sido realizados em simuladores e pelo fato do conforto ser complexo e com muitas variáveis (Mellert e cols., 2006).

Em um estudo, baseado em questionários para acessar o conforto ergonômico de passageiros de avião (Richards e Jacobson, 1975), dois questionários foram aplicados com passageiros: no solo e em voo. Ficou evidenciada a importância dos variados fatores que afetam a satisfação dos passageiros com a viagem, principalmente dos fatores físicos que determinam o nível de conforto.

O ruído no interior de aeronaves, também referido como ruído de cabine, influencia intensamente o conforto e a saúde dos passageiros e da tripulação. Uma vez que a comunicação pode ser mascarada pelo ruído, este é determinante na segurança do voo.

Muitas fontes sonoras contribuem para o ruído do interior do avião. Essas contribuições dependem das mais variadas condições, tais como as condições de voo, decolagem, cruzeiro, aterrissagem e de fatores como velocidade, altitude, entre outros.

O projeto HEACE⁷ teve como objetivos a investigação do impacto ambiental da cabine do avião na performance, bem estar e saúde da tripulação. Este projeto que envolve várias áreas de pesquisa, de vários países da união européia, utilizou um questionário com 120 questões sobre saúde e bem estar (30), condições ambientais (45), efeito do ambiente (18), conforto (18), entre outras, em 132 comissários de voo e 30 pilotos. O estudo concluiu que o impacto de variáveis como, por exemplo, o ruído e a vibração, que são identificados nos voos de longa duração e testados nos simuladores, mostram a dificuldade de se avaliarem efeitos independentes de cada situação (Mellert e cols., 2008). Uma relação direta entre variáveis independentes (caracterizadas pelo ambiente) e variáveis dependentes (indicadores de respostas humanas) está bem descrita, ainda que medidas diretas de cada parâmetro selecionado revelem uma complicada interação de numerosas variáveis. Concluíram também que o nível de ruído exerce significativa influência, principalmente quando o tempo de voo aumenta (Trimmel, 2006).

⁷ HEACE – Health Effects in Aircraft Cabin Environment. Disponível em: <http://www.heace.org>

Dentro desse mesmo projeto, Trimmel e cols. (2005) pesquisaram o impacto da temperatura, umidade do ar e ruído no conforto da tripulação. Foram realizados estudos experimentais com 70 comissários de voo no *mock-up* da BRE⁸ seguidos de seis voos longos de 7 e 12 horas em parceria com as Linhas Aéreas Austríacas. Nestes voos foram realizados eletrocardiogramas, medidas da pressão arterial e saturação de oxigênio, assim como níveis de conforto, humor e outros foram pesquisados. Concluíram que o conforto é predominantemente relacionado à satisfação com o ambiente. Em voos reais, o conforto não está relacionado com o desempenho nem com a motivação, mas com as atividades fisiológicas que são sensíveis às condições do ambiente dentro do avião.

No projeto HEACE, Weber e cols., (2004) estudaram os efeitos da variação controlada da temperatura, umidade, ruído e vibração em um simulador de avião e observaram uma relação linear entre as taxas de percepção de cada parâmetro físico e o efeito no conforto. Uma importante conclusão foi a de que ao invés de utilizar itens relacionados às características físicas (como alto/baixo; quente/frio; úmido/seco) devem-se utilizar diferentes escalas de satisfação que também podem ser relacionadas com os fatores físicos como satisfatório/insatisfatório.

2.3 Métodos de avaliação subjetiva de conforto

Estabelecer relações entre o som apresentado e a percepção do sujeito é o primeiro objetivo de quem estuda a psicoacústica e a qualidade sonora. Para atingir este objetivo o pesquisador desenha uma situação destinada a alcançar o seu objetivo. Situações experimentais são planejadas para evitar ambigüidades ao apresentar o estímulo e questionar os sujeitos. É necessário distinguir entre o que o indivíduo realmente ouviu e a maneira como ele responde. Para tal, é necessário selecionar técnicas e métodos de avaliação subjetiva que minimizem o efeito de respostas enviesadas. Os métodos estudados neste trabalho serão descritos a seguir.

2.3.1 Diferencial Semântico (DS)

O DS foi originalmente desenvolvido por Osgood e cols., (1957) para medir o significado conotativo, por meio de uma escala. O DS é um método generalizável e flexível utilizado para identificar e medir as dimensões psicológicas consideradas importantes na avaliação dos conceitos e estímulos. Esses autores reforçaram que o DS deve ser adaptado às necessidades de cada problema de pesquisa, uma vez que não existem padrões a serem seguidos.

⁸ BRE – Building Research Establishment. Disponível em: <http://www.bre.co.uk>

O DS é composto por sete escalas⁹ representadas nos extremos por pares de adjetivos bipolares (Osgood e cols.1957; Müller e Schütte, 2006). Geralmente são escolhidos adjetivos para representar as escalas, mas outros tipos de palavras ou expressões também podem ser escolhidos para compor o DS.

Som

forte								fraco
agradável								desagradável
irritante								não irritante

Figura 2.2 Exemplo de diferencial semântico

Com o DS, o sujeito poderá avaliar, de forma absoluta, o estímulo na escala que se encontra entre os adjetivos apresentados (Leite e Paul, 2007).

Esta técnica é flexível e pode ser adaptada e aplicada em uma grande variedade de áreas. Na acústica, vários autores fora do Brasil mostraram que esta técnica pode ser aplicada com sucesso na avaliação de sons complexos.

Para a avaliação do som com a utilização desta técnica se faz necessário o estudo do campo semântico específico, buscando palavras ou adjetivos que expressem as dimensões próprias do som. Toda a descrição do som, mesmo definições objetivas, precisa ser adequada e composta por palavras compartilhadas comumente pelas pessoas. Na avaliação subjetiva do som, a necessidade da semântica apropriada é fundamental para que os instrumentos de medida sejam aplicáveis e os resultados sejam válidos (Pasquali, 2007).

Para a análise estatística dos dados adquiridos por meio deste método, várias abordagens podem ser realizadas. Entre elas, as mais comuns na literatura da área são a Regressão Linear e a Análise Fatorial. A Regressão Linear é uma das ferramentas utilizadas para determinar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. A técnica também permite o cálculo do coeficiente de correlação que, na realidade, é uma indicação de quão bem a relação pode representar os pontos analisados. Por outro lado, a Análise Fatorial é uma ferramenta estatística aplicada a conjuntos de dados e utilizada com o propósito de verificar quais desses conjuntos formam subconjuntos coerentes e independentes entre si. Em outras palavras, a Análise Fatorial permite reduzir um número grande de variáveis para poucos conjuntos de variáveis ou fatores. Como regra

⁹ Sugerido por Osgood e cols., (1957)

geral deve-se ter um número de observações de quatro a cinco vezes o número de variáveis ou fatores (Otto e cols., 2001; Lima, 2005).

2.3.2 Ordenamento

O Ordenamento é a forma mais primitiva de medida. Uma escala ordinal é obtida, por exemplo, quando um grupo de meninos é ordenado do mais alto ao mais baixo. Frequentemente é entendido que os números empregados com escalas ordinais nos fornecem apenas um auxílio para designar posições relativas das pessoas. Uma escala de ordenamento é obtida quando, para N pessoas, é sabido que $S_1 > S_2 > S_3 > S_4$ com respeito a um atributo (Nunnally, 1978). Porém, a escala ordinal, resultado obtido com o método do ordenamento, não especifica a distância entre cada posto ordenado (Gelfand, 1998).

O ordenamento é um dos métodos subjetivos de maior simplicidade. É solicitado aos sujeitos de teste que ordenem os sons de acordo com algum critério de avaliação. A complexidade da tarefa cresce consideravelmente na medida em que o número de sons aumenta. Assim, o tamanho da amostra é usualmente baixo (seis ou menos sons) (Otto e cols., 2001).

2.3.3 Escala de resposta (ER)

Utilizado na Psicologia e outras ciências sociais, como escala de diferentes instrumentos, foi adaptado pela engenharia para ser utilizado como um método de avaliação no qual o sujeito de teste avalia os sons reproduzidos, atribuindo uma posição em uma escala. Para a análise, compara-se tal posição com uma régua e se atribui um valor (Rohrmann, 2003). É um método rápido e simples, uma vez que a maioria das pessoas está habituada com o processo de avaliação. Além disso, fornece uma informação quantitativa direta sobre as diferenças entre um som e outro. Sua dificuldade consiste na padronização das escalas de resposta definidas pelo júri (Otto e cols., 2001). Geralmente, os sons são reproduzidos em uma determinada seqüência e não são feitas repetições (Lima, 2005).

2.3.4 Comparação Pareada (CP)

O método da CP baseia-se na lei de julgamentos comparados do caso V de Thurstone e é geralmente utilizado como um método psicofísico para derivar escalas de percepção de qualidade. Thurstone (1959) utilizou este método para medir a percepção da intensidade de estímulos físicos, atitudes, preferências, escolhas e valores. Ele também estudou implicações da teoria que desenvolveu para a opinião política e o sistema de votação.

A CP geralmente se refere a qualquer processo de comparar itens aos pares, para o julgamento baseado em algum critério, como por exemplo, qual é preferido ou qual apresenta certa característica (Leite, 2006).

Basicamente, a CP baseia-se na apresentação dos sons em pares, solicitando aos sujeitos de teste que façam julgamentos relativos baseados no par apresentado. Existem algumas variações baseadas neste método (Otto e cols., 2001):

a) detecção – o sujeito de teste deve escolher qual dos sons no par contém o sinal a ser detectado. É um método utilizado para determinação de limiares. Por exemplo, deseja-se saber até que limite um tom puro é mascarado por um ruído de banda larga. Um dos sons do par é construído com tom puro e ruído de banda larga (sinal a ser detectado) enquanto o outro apenas com o ruído de banda larga. O executor do ensaio registra quando os sujeitos de teste indicam a resposta, sendo que a amplitude do tom puro é variada de um par para outro. A amplitude do tom puro, quando a porcentagem de respostas certas atingir, por exemplo, 50%, define o limiar;

b) similaridade– o sujeito de teste não necessita escolher um ou outro som do par reproduzido. Os sons continuam sendo apresentados em pares, porém a tarefa é estimar a similaridade entre os sons do mesmo par através de uma escala (uma linha graduada apenas nas extremidades com os dizeres “muito semelhante” e “muito diferente”). Todos os pares possíveis são avaliados dessa maneira. Depois de todas as avaliações, uma grade numerada é colocada sobre a linha e as marcas feitas pelos sujeitos de teste são convertidas em números;

c) avaliação– neste método, escolhido para esta pesquisa, os sujeitos realizam um julgamento subjetivo escolhendo um dos sons apresentados no par segundo algum critério de avaliação (escolha forçada)¹⁰. Quando forem utilizados critérios de avaliação mais específicos (*loudness*, *roughness*) cuidados devem ser tomados para garantir que o sujeito compreenda o significado dos termos. O procedimento de escolha é repetido até que todos os pares tenham sido avaliados, sendo que a replicação dos testes (com a ordem de apresentação dos pares alterada) também é praticada. A principal desvantagem dos métodos de comparação pareada é que o número de pares cresce rapidamente com o número de sons, tornando o processo de avaliação demorado e custoso. A ordem de apresentação dos pares influencia nos resultados (Baker e cols., 2004). Uma alternativa para esta desvantagem é a utilização do desenho experimental em blocos.

Uma maneira rápida de fazer a análise consiste em ordenar os sons de acordo com os escores obtidos nos julgamentos, sendo que o escore é dado pelo número de vezes que o

¹⁰ o sujeito de teste deve escolher um ou outro som do par.

som foi escolhido no julgamento. Essa análise é bastante rápida e simples. Montgomery e cols., (2003) sugerem que, para verificar se existem diferenças significativas entre os escores, testes estatísticos como o Friedman's T, o Fisher's LSD, bem como qualquer outro método utilizado para analisar os dados de ER (*Ranking* ou *Response Scales*), podem ser utilizados.

Os modelos de Bradley-Terry e Thurstone-Mosteller também podem ser utilizados para a análise e têm sido aplicados na indústria automobilística com grande sucesso, uma vez que permitem a correlação com modelos objetivos (Otto e cols., 2001).

2.3.5 Estimativa de Magnitude (EM)

A EM foi o principal método utilizado por Stevens (1957) para medir a percepção de intensidade de um estímulo. Este autor desenvolveu a lei da potência, a qual utilizava a EM, para substituir a Lei de Weber-Fechner. Ele utilizou duas alternativas para estimar a percepção, a estimativa de magnitude e a estimativa de produção.

A EM é o método no qual o júri atribui um número a algum atributo do som, por exemplo, quão agradável ou incômodo o som é. Teoricamente não existe limite nem para o número de sons a ser avaliado, nem para a escala de avaliação. (Lima, 2005).

Essa falta de limite constitui uma vantagem sobre os métodos de CP e DS, uma vez que qualquer valor atribuído está “dentro da escala”. Paradoxalmente, esta vantagem também acaba acarretando em problema, pois não existe uma padronização nas respostas dos sujeitos e, assim, estes podem ter respostas bastante diferentes. Uma possibilidade é utilizar um ruído de referência e atribuir uma magnitude a ele (como 100, por exemplo), avaliando todos os outros sons com base nessa referência. Outra variação consiste em utilizar a referência porém não fornecer magnitude. Em ambos os casos a duração do teste é dobrada devido à reprodução do ruído de referência (Otto e cols., 2001). O método de estimativa de magnitude foi encontrado como melhor maneira de desenvolver um modelo de conforto (Leatherwood e cols., 1990).

2.4 Pesquisas na área

Em geral, estudos sobre o ruído do avião são diferenciados em externo e interno. O ruído externo do avião é relacionado com a comunidade, como um problema ambiental. Como afeta grande parte da população, especialmente em áreas próximas a aeroportos, sua legislação é bem definida tanto para os aeroportos como para a certificação de aeronaves. Por outro lado, o ruído interno de aeronaves não é bem documentado (Bucak, 2007).

Considerando que a qualidade sonora é uma ciência relativamente nova, apesar de abranger outras ciências mais antigas, a literatura especializada na área da qualidade sonora para o interior de aeronaves não é muito extensa (Powell e Fields, 1995). Isso não significa que pesquisas não estejam sendo feitas. Encontram-se na internet e nos congressos da área muitas publicações, que acabam remetendo sempre aos mesmos pontos; detalhes específicos, problemas e melhorias não são publicados. Este fato pode estar associado ao sigilo, uma vez que a indústria aeronáutica financia estas pesquisas e, na maioria das vezes, não permite sua publicação.

Grupos de pesquisa da Universidade de Oldenburg¹¹ (Instituto de Física Acústica) integram o projeto HEACE. O DLR¹² (Centro de pesquisas Aeroespaciais) desenvolve pesquisas de métricas fisiológicas, psicológicas, neurológicas e sensações físicas do ser humano (com ensaios em voo e laboratório). A Airbus tem um projeto integrado visando o conforto e a habitabilidade do ser humano em cabines de aeronaves (já sendo aplicado ao A380). A Universidade de Viena (Instituto de Saúde Ambiental) realiza pesquisas de métricas fisiológicas, psicológicas, neurológicas e sensações físicas do ser humano em laboratórios simulando condições ambientais de voo. A Universidade de Patras (Instituto de Fluidodinâmica e Energia) na Grécia desenvolve modelagens matemáticas dos aspectos físicos de cabine de aeronaves e das respostas fisiológicas, psicológicas, neurológicas e sensações físicas do ser humano durante o voo. A BRE possui um simulador ambiental e vibro-acústico e apóia muitos estudos da área (D'Ishia e cols., 2007). Ainda que essas informações sejam de conhecimento público pouco é sabido sobre os detalhes das pesquisas de qualidade sonora para o interior de aeronaves.

Mesmo que não contemplem a problemática dessa tese, alguns estudos da área automotiva e do ruído externo de aviões foram selecionados por seus achados pertinentes ao assunto.

Para o ruído externo, Müller e Schütte (2006) utilizaram o DS e a CP para estudar o ruído causado na decolagem e no pouso dos aviões, dentro do convênio Engenharia Sonora para o Avião - SEFA¹³. Como resultados, relatam que ao reduzir a energia sonora pela metade, os sons foram mais preferidos pelos sujeitos. A redução de baixas frequências não melhorou a qualidade sonora, o que pode ser devido ao efeito do mascaramento para tons e componentes de frequências altas. Uma constatação importante foi a de que única

¹¹ Disponível em: <http://www.physik.uni-oldenburg.de/Docs/aku/publications/journ.htm>

¹² DLR – Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt Disponível em: www.dlr.de

¹³ SEFA – Sound Engineering for aircraft Disponível em: ec.europa.eu/research/transport/projects/article_3696_en.html

estratégia para melhorar a qualidade sonora de sons de avião não pode derivar somente do DS.

Ribeiro e cols. (2006) utilizaram o DS e o Ordenamento para avaliar o ruído de janelas elétricas automotivas e observaram que o estudo da relação entre as palavras utilizadas para descrever sons e os parâmetros objetivos pode contribuir para as investigações em qualidade sonora. Também apontam a limitação do método do Ordenamento em apenas identificar os sons preferidos, dificultando a identificação de possíveis correlações entre a preferência e os parâmetros psicoacústicos.

Zeitler e cols. (2006), em um estudo para avaliar o ruído interno automotivo com o DS, relataram que o significado, as expectativas e o contexto influenciam os resultados, mesmo quando é esperada uma relação entre os parâmetros físicos e a percepção do som.

Dubois e Guastavino (2006) e Guastavino e Dubois (2006) concluíram em seus estudos que as pessoas categorizam as amostras sonoras preferencialmente no significado emocional e não reduzem diretamente aos parâmetros físicos.

Capítulo 3: Estudo e Definição da Semântica

Conforme sugerido na literatura apresentada no capítulo anterior, para o estudo do conforto acústico no interior de aeronaves por meio de técnicas de qualidade sonora, foi necessário inicialmente estudar as palavras comumente utilizadas para a descrição e a caracterização do ruído neste ambiente, para falantes do português do Brasil. Com isso, este capítulo abrange a metodologia utilizada neste estudo, seguido dos resultados e das principais conclusões.

Cabe ressaltar que, pelo fato de se tratar de pesquisa com seres humanos, o projeto inicial no. 352/06 foi enviado ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina e foi aceito (Apêndice1). Todos os participantes da pesquisa leram e assinaram o Termo de Informação e Aceite de participação.

3.1 Método

Inicialmente foi feito um estudo acerca das palavras, adjetivos ou substantivos, que são compartilhadas por um grande número de pessoas para qualificar ou descrever o som e o ruído no interior de aeronaves. Para que essas palavras, aqui denominadas de descritores, fossem eliciadas, foram elaborados alguns instrumentos para coletá-las de diferentes formas, em um ambiente próximo ao ambiente real de voo (Figura 3.1)

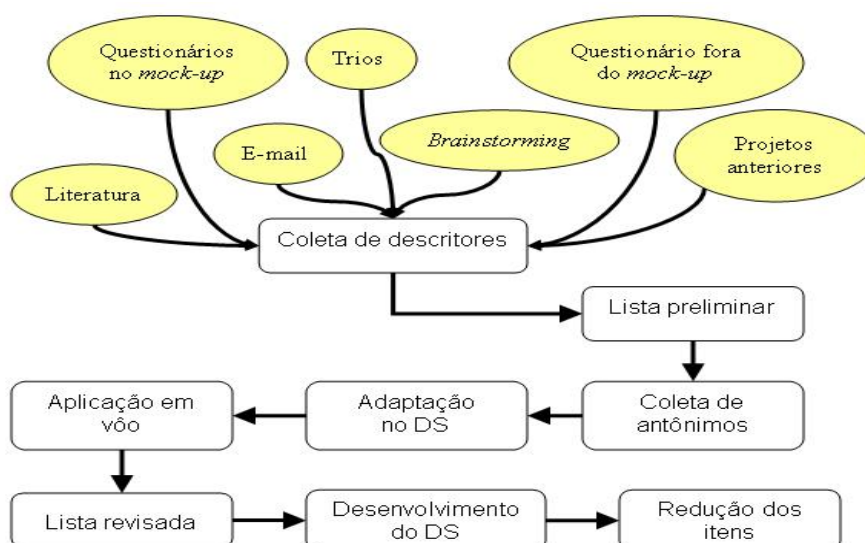


Figura 3.1 Esquema do estudo da semântica.

3.1.2 Ambiente e sons do ensaio

Com o objetivo de aproximar o ambiente do laboratório à realidade de uma aeronave, foi utilizado um simulador (Figura 3.2), também chamado de *mock-up*, desenvolvido durante o convênio (FINEP-EMBRAER-UFSC) no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA). Este simulador foi fabricado com compensado e madeira de forma a replicar uma seção de uma aeronave específica, com duas fileiras de assentos e dimensões internas preservadas. Este simulador foi validado em projeto anterior por meio da execução de ensaios subjetivos, sendo que os resultados destes ensaios em ambiente real e no ambiente simulado foram comparados e não foram encontradas diferenças significativas (Lima e Gerges, 2005).

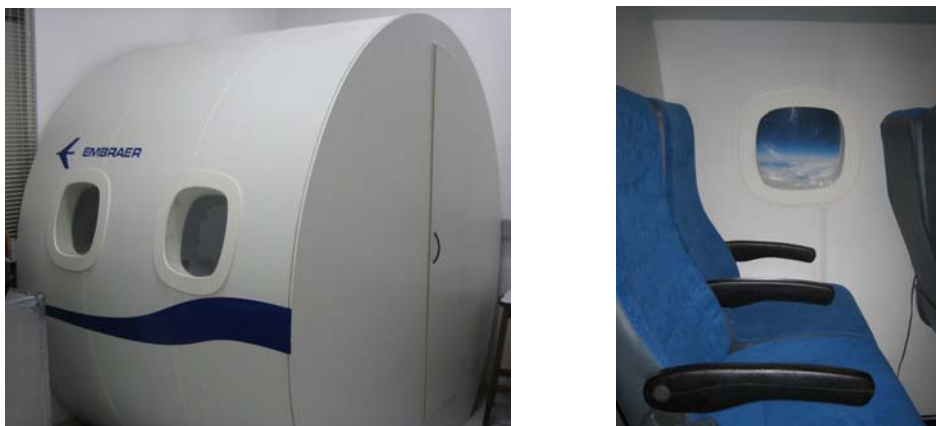


Figura 3.2 Foto do ambiente externo e interno de ensaio.

Quando foram feitos testes com estímulos sonoros (sons de aeronaves), estes foram gravados com equipamento de gravação binauricular portátil (Squadriga, da HEAD-acoustic) em viagens comerciais de avião de médio porte. A edição dos estímulos obtidos foi efetuada em software de edição de sons. Foram preparadas diferentes seqüências de estímulos sonoros a fim de se providenciar a impressão mais fidedigna possível de uma viagem de avião. Para a reprodução, foi utilizado um fone da Sennheiser HD580 para garantir de forma binauricular a recepção mais próxima da situação normal de escuta. Os sinais digitais foram convertidos por um conversor de sinal PEQV sendo aplicada a devida equalização de reprodução, bem como o ajuste do volume (Figura 3.3).

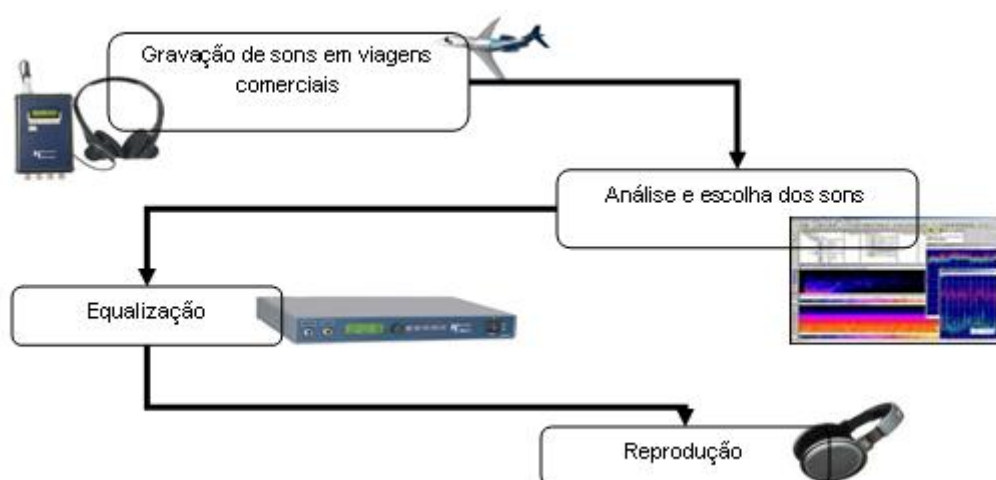


Figura 3.3 Esquema de aquisição, análise, equalização e reprodução dos sons.

Foi implantado um sistema de som e vibração para reprodução de baixas frequências, capaz de transmitir a sensação de vibração na poltrona onde o indivíduo é submetido ao teste, aproximando assim o ambiente de teste ao ambiente real. O sistema implantado consistia de um *subwoofer* (auto-falante para reprodução de baixas frequências) embaixo da poltrona.

Os ensaios desta etapa da adequação do mock-up mostraram que o som reproduzido pelos fones de ouvido abrange as frequências presentes no espectro de ruído no interior de uma aeronave e audíveis pelo ser humano, e que o *subwoofer* inserido no simulador não interferiu no campo acústico. Contudo, o *subwoofer* proporcionou a sensação de vibração que tornaram o simulador mais próximo da realidade do interior de uma cabine de aeronave.

3.1.3 Preparação dos ensaios (questionário)

O questionário para coleta de descritores na versão preliminar foi desenvolvido após discussões multidisciplinares, considerando os aspectos abordados na disciplina Observação e Medida de Fenômenos e Processos Psicológicos, do curso de Psicologia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Após aplicação do questionário preliminar (estudo piloto) houve reformulações com o objetivo de melhorar a organização, a compreensão e aperfeiçoar a aquisição de descritores. O questionário para coleta de descritores para ruídos e vibrações no interior de aeronaves foi revisado. Foram reorganizados os itens para melhor orientação dos sujeitos dentro da tarefa e economia de espaço.

Os instrumentos de coleta inicial e o final encontram-se anexados neste documento (Apêndices 2 e 3).

A construção do questionário teve uma etapa teórica e outra empírica, sendo que nesta se verificou a construção teórica. Na etapa empírica, aplicou-se o questionário em 15 sujeitos e foram feitas as seguintes observações:

- apenas sujeitos interessados na pesquisa conseguiram descrever os ruídos apresentados conforme solicitado no questionário;
- a falta de concentração em adjetivos, associada à instrução longa, fizeram com que sujeitos não informassem descritores para o ruído. Utilizaram descritores para o estado pessoal ou ainda para os seus sentimentos;

Após a observação de que os ouvintes se utilizaram de experiências passadas para responder ao instrumento, e considerando o fato de que não se pode retirar a experiência do sujeito com respeito a um som, é necessário orientá-los melhor com respeito à tarefa. Foi então proposto o método das tarefas secundárias. Este método, empregado na Psicologia, dá um exemplo de como deve ser feita uma descrição ou qualificação (p.ex., como você descreveria a comida que você comeu hoje no almoço, ou como você descreveria a música que você mais gosta).

Nota-se, também, que o procedimento de aplicação dos questionários foi melhorado, tanto em termos de otimização de tempo, como em organização da aplicação e a organização do próprio questionário.

Considerando que apenas sujeitos mais atenciosos executaram a tarefa conforme solicitado, decidiu-se mudar a estruturação do questionário para coleta de dados. As perguntas referentes às variáveis demográficas (sexo, idade, etc.), referente ao hábito de viajar de avião e a aspectos confortáveis e desconfortáveis e experiências, foram colocadas após as perguntas abertas sobre descritores para sons, ruído e vibrações em geral e nas três situações de voo.

Com isso, esperou-se valorizar a coleta dos descritores, que inicialmente estavam sendo deixados em segundo plano pelos ouvintes que responderam o questionário.

Outra consideração importante foi a decisão de que apenas as questões referentes a descritores em situação de voo foram aplicadas dentro do mock-up. As demais foram preenchidas fora do mock-up, levando a uma considerável economia de tempo de ensaio.

A aplicação da entrevista final teve a finalidade de confirmar e entender a percepção do sujeito, e mais ainda a descrição e categorização dos sons, ruídos e vibrações. Isto é, explorar o significado. A entrevista requer treinamento do pesquisador, algo fundamental na aplicação de pesquisas qualitativas. A padronização da aplicação dos testes também foi considerada.

3.1.4 Coleta de descritores via e-mail

Esta etapa da pesquisa foi conduzida por meio de questionários distribuídos via correio eletrônico, como utilizado por Guastavino (2003 e 2005). Os questionários foram elaborados no formato de questões abertas. Os participantes receberam uma mensagem eletrônica, em que se perguntava a sua disposição em participar de um estudo sobre conforto. Caso aceitassem participar, seriam enviados mais dois questionários, o primeiro direcionado ao estudo dos principais aspectos para o conforto em viagens de avião e o segundo com o objetivo de conhecer quais palavras seriam usualmente utilizadas na descrição de sons e vibrações no interior de aeronaves, no português do Brasil. Cabe ressaltar que os indivíduos, ao receber o primeiro questionário, não eram informados sobre o vínculo do estudo com acústica e vibrações, a fim de não induzir um viés nas respostas.

Os participantes desta etapa foram selecionados a partir de uma lista de endereços eletrônicos pessoal de sujeitos que já tinham viajado de avião. No total, 52 pessoas responderam aos questionários, sendo 24 do sexo feminino (média de idade de 32,2 anos e desvio padrão de 9,5 anos) e 28 do sexo masculino (média de idade 30,4 anos e desvio padrão 8 anos).

Os resultados estão divididos em duas etapas para melhor compreensão dos procedimentos e análises existentes.

3.2 Resultados e Comentários

3.2.1 Coleta de descritores via e-mail

Etapa 1 - Aspectos responsáveis pelo conforto em viagem aérea

Os dados, provenientes de 52 indivíduos, coletados por meio dos questionários, foram tabulados e analisados com o intuito de criar categorias gerais sobre os aspectos relevantes para o conforto numa viagem de avião. A partir da pergunta “Quais aspectos você considera importantes... para o conforto numa viagem de avião”, os indivíduos fizeram mais de 180 comentários. A partir dos comentários foram criadas 17 categorias, usando técnicas de análise de conteúdo, demonstrando as sinalizações da população em relação ao fenômeno conforto numa viagem de avião..

As cinco principais categorias foram: conforto da cadeira, atendimento, climatização, ruído e espaço interno da aeronave, correspondendo a 47,5 % do total das respostas. O aspecto relacionado ao ruído demonstrou destaque entre as categorias citadas, ficando entre os quatro aspectos mais significativos para o conforto.

Cabe ressaltar que esta etapa foi realizada nos meses de março a abril de 2006. A situação crítica do transporte aéreo que o Brasil encontra desde o acidente da empresa Aérea Gol, em 2006, poderia gerar resultados diferentes caso a pesquisa fosse repetida.

Etapa 2 - Descritores do fenômeno

Na segunda parte do estudo, com o objetivo de coletar descritores gerais para caracterização dos fenômenos vibro-acústicos, procedeu-se com um método de análise de conteúdo similar ao da etapa 1. Foi realizada a tabulação dos dados com posterior categorização e agrupamento dos descritores pelo critério de similaridade semântica. Foram citadas no total 76 descrições diferentes para qualificação do objeto em estudo. A partir dos descritores e do significado semântico, foram criadas categorias para agrupamento dos descritores conforme o quadro abaixo (Figura 3.4).

desconfortável necessário sujeito a habituação interessante não interessante ansiedade irritante inadequado insegurança induzindo sono áspero	já se habituou diminuindo com a tecnologia aceitáveis não perturbador desagradável tranquilidade no limite do tolerável tenso perigo iminente monótono	gostaria que diminuísse incômodo estridentes parcialmente desprezível barulhento normal induzindo medo constante não irritante murmurando
---	---	--

Figura 3.4 Categorias criadas para o agrupamento dos descritores.

Os descritores subdividiram-se em sete categorias principais, conforme a Figura 3.5. Destacam-se as categorias (descritores) que dizem respeito a propriedades negativas (desagradável, incômodo, desconfortável) dos fenômenos vibro-acústicos dentro da aeronave. Por outro lado, observam-se manifestações de aceitação (aceitáveis, não perturbador, necessários), indicando que uma aeronave totalmente silenciosa, hoje em dia, ainda não é imaginada nem exigida pelos consumidores, fato também revelado nos projetos IdEA-PACI e Health Effects in Aircraft Cabin Environments (HEACE).

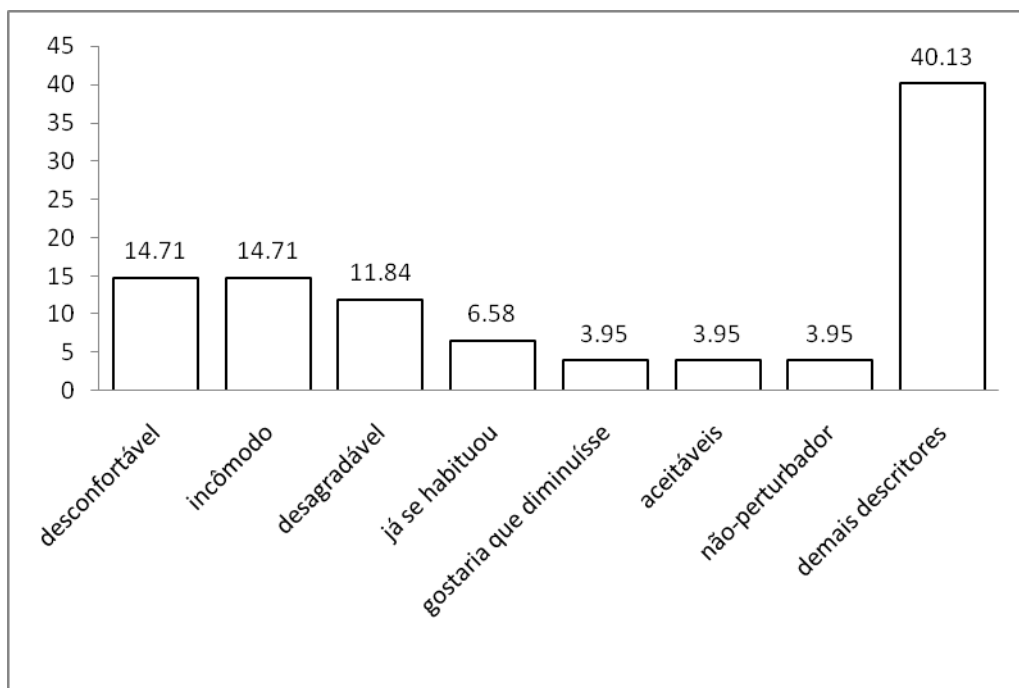


Figura 3.5 Descritores utilizados para ruídos e vibrações dentro de aeronaves sem apresentação de um estímulo.

Por meio desta etapa, podemos observar que as denominações das categorias, derivadas a partir das citações dos sujeitos, revelam a dificuldade da descrição semântica das qualidades e propriedades dos fenômenos acústicos para o português do Brasil, fato já encontrado por Paul (2005), em uma pesquisa relacionada a descritores para sons automotivos.

Observa-se também que os descritores citados não possuem qualidades suficientes para descrever os fenômenos vibro-acústicos de forma fidedigna. Uma descrição fidedigna seria necessária para fazer alterações sistemáticas das propriedades vibro-acústicas, a fim de melhorar a qualidade sonora no interior da aeronave, sendo que os descritores citados não contemplam informações necessárias para as melhorias da qualidade sonora no interior da aeronave.

Confirma-se que é de extrema importância que seja feito um aprofundamento nos estudos da semântica para os descritores vibro-acústicos no interior de aeronaves, a fim de que a construção de instrumentos seja criteriosa. Os resultados desta pesquisa por emails foram publicados em Bitencourt e cols., 2006.

3.2.2 Coleta de descritores com questionário estruturado dentro do mock-up

Após a verificação da validade de face do instrumento de coleta, o questionário final (Apêndice 2) foi aplicado em 111 voluntários, sendo 81 (73 %) do sexo masculino e 30

(27%) do sexo feminino, com média de idade de 23 anos e desvio padrão de 5,45 anos. Os participantes foram submetidos a uma simulação vibro-acústica de vôo dentro do *mock-up* do LVA. O objetivo foi coletar o maior número possível de descritores. Vale ressaltar que as instruções para essa coleta foram constantemente reformuladas, a fim de se providenciar uma melhor compreensão por parte dos sujeitos. Os dados foram tabulados e analisados de acordo com o número de ocorrências. Foram encontrados 80 descritores diferentes para o som de cruzeiro. Estes descritores se encontram em anexo (Apêndice 4) e fazem parte dos que geraram a lista de descritores para o diferencial semântico.

3.2.3 Levantamento dos descritores utilizados em projetos anteriores

Foi feito um estudo acerca dos descritores utilizados em um projeto de qualidade sonora para interior de aeronaves, de acordo com o relatório final do convênio Finep, Embraer e UFSC (Lima e Gerges, 2005). Esses descritores também contribuíram para gerar uma lista com os mais utilizados para gerar a lista final.

3.2.4 Coleta de descritores por *brain-storming* de especialistas em acústica

Em reunião com os integrantes do LVA/LARI foram discutidos descritores para o ruído e vibração no interior de aeronaves. Os descritores foram organizados por vários critérios como dimensão, importância para a engenharia, semântica, etc. Estes descritores se encontram no Apêndice 5.

3.2.5 Coleta de descritores em literatura

Revistas de aeronáutica e de viagem foram revisadas. Porém apenas poucos descritores foram achados além do já conhecido “cabine silenciosa”.

3.2.6 Coleta de antônimos para a lista preliminar

Após uma análise prévia dos descritores coletados, foi organizada uma lista de descritores, escolhidos por serem utilizados por um grande número de participantes ou porque foram considerados importantes. O instrumento de coleta com essa lista está no Apêndice 6. O questionário foi aplicado em 95 pessoas, sendo 61% do sexo feminino e 39% do sexo masculino, com média de idade de 23 anos e desvio padrão de seis anos. Os antônimos compartilhados por um maior número de indivíduos foram considerados para a formação dos pares de itens para compor o diferencial semântico. Por exemplo, se para “forte” encontramos como antônimo 70% “fraco”, e 30% “silencioso”, foi utilizado o fraco para formação do item forte/fraco

3.2.7 Coleta de descritores por meio de gravação da fala espontânea (associação livre)

O objetivo principal dessa atividade foi o de coletar mais descritores (palavras, adjetivos) para o fenômeno em estudo. Para tal, foram gravadas dez (10) entrevistas dirigidas, com os indivíduos posicionados no mock-up, estimulados pelo som da gravação binaural de um trecho de cruzeiro de uma viagem de avião. O participante foi solicitado a tentar descrever com as próprias palavras o som, o ruído e a vibração a que foi exposto. Esta tarefa também teve o objetivo de verificar se a coleta de descritores por meio da associação livre (fala) apresentava outras informações não coletadas com a escrita, ou seja, coletados por meio de questionários impressos aplicados anteriormente. Com a análise das transcrições, observou-se que não surgiram novos descritores e não existe diferença relevante entre os dois métodos aplicados para a coleta de descritores (questionário em papel e gravação da fala espontânea).

3.2.8 Coleta de descritores pelo método dos trios (*Triadic Comparison*)

O método de comparação de trios, utilizado por Martens e Giragama (2002), serviu como uma ferramenta para diversificar os métodos de aquisição de descritores. Ele foi adaptado e foi gerado um novo instrumento (Apêndice 7). O objetivo principal deste estudo foi verificar se, por meio de comparações de trios de sons, as pessoas utilizariam outros descritores, diferentes dos coletados nas etapas anteriores do projeto. Foram selecionados 19 sujeitos que não haviam participado de etapas anteriores, sendo 11 do sexo masculino e 8 do sexo feminino, com idade variando de 18 a 32 anos. Eles foram divididos em dois grupos de 10 e 9 indivíduos, para participar da primeira e segunda etapas, respectivamente.

O teste foi composto por comparações de 15 trios de sons, de diferentes poltronas, de um voo em cruzeiro, onde o voluntário teria que escutar três sons, com suas respectivas vibrações, e identificar qual era o som mais diferente. Após essa identificação, era solicitado a nomear com adjetivos ou palavras tal diferença.

Na sequência, foi questionado qual era a semelhança entre os outros dois sons, classificando com adjetivos correspondentes. Em relação à vibração, no caso de a pessoa perceber alguma diferença entre as três, teria que nomear também um adjetivo correspondente para essa diferença. Para reprodução dos sons pelos sujeitos do teste, foi criada uma interface (Figura 3.6), na tentativa de reduzir o constrangimento do indivíduo ter que pedir ao avaliador para ficar repetindo os sons e assim, podia ouvir os sons quantas vezes necessárias.



Figura 3.6 Interface desenvolvida para manuseio dos sons no interior do *mock-up*.

Os dados referentes aos 19 voluntários foram tabulados em três tabelas do Excel, sendo que uma possui os adjetivos referentes ao som e à vibração, a outra referente somente ao som e a última referente à vibração. Estas tabelas compreendem a nomeação dos adjetivos, a quantidade que cada um aparece e os adjetivos correspondentes a cada ouvinte. É importante ressaltar que cada ouvinte está representado pelo seu número de identificação.

Contou-se o número de vezes que cada palavra foi utilizada pelos diferentes indivíduos. Os voluntários desta etapa utilizaram adjetivos para descrever os sons. Todavia, a diferença entre os estímulos de vibrações apresentados não foi identificada por todos. Os descritores mais usados para o som foram: agudo, grave, forte, suave, baixo, alto e ruído. Esses resultados podem ser melhor visualizados na Figura 3.7.

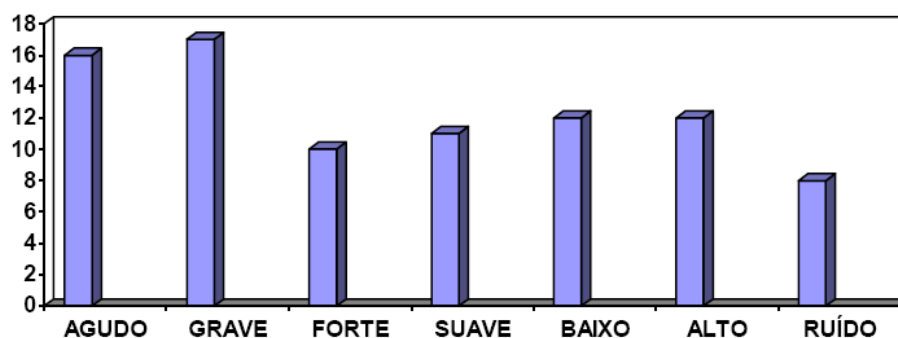


Figura 3.7 Ocorrência dos descritores para o som.

Por meio da aplicação da comparação dos trios, observamos que foram mencionados 28 descritores diferentes que não haviam surgido nas etapas anteriores do estudo da semântica. Foram estes: amplificado, anormal, artificial, assustado, atento, brusco,

concentrado, denso, diferentes tons, discreto, disperso, ecoante, equilibrado, encantado, interrompido, lento, misturado, nauseado, pronunciado, rápido, sibilantes, sossegado, sufocado, sutil, temporário, tremido, violento.

3.2.9 Lista de descritores preliminar

Após a coleta de descritores foi determinada o número de ocorrência de cada descritor. Com isso, foi gerada uma lista preliminar de descritores, coletados os antônimos mais apropriados e gerado um diferencial semântico primário para ser aplicado em vôo real.

3.2.10 Aplicação da lista preliminar de descritores em vôo

Um vôo real, para aplicação do diferencial semântico inicial e coleta de descritores, ocorreu no dia 28 de outubro de 2006, sendo que a lista preliminar (diferencial semântico preliminar) foi aplicada em 24 voluntários. Os dados foram tabulados e analisados e se encontram em um relatório técnico, entregue 'a empresa que proporcionou o vôo em 09 de fevereiro de 2007, em caráter de sigilo. A utilização de dados parciais foi autorizada pela empresa..

Foi realizada uma análise fatorial com os questionários aplicados no vôo, porém o número reduzido de sujeitos (24) não permitiu chegar a conclusões estatisticamente confiáveis, uma vez que, conforme apresentado na revisão de literatura, é necessário o mínimo de cinco sujeitos para cada par de adjetivo do diferencial semântico.

Conforme resultados do relatório, surgiu a necessidade de nova coleta de antônimos. Foram estruturados dois questionários baseados em todos os descritores já coletados e analisados desde o início da pesquisa. Esses antônimos foram tabulados e serviram como apoio na decisão da escolha dos pares para o diferencial semântico a ser validado no mock-up.

3.2.11 Lista de descritores revisada

Foi feita uma reformulação no diferencial semântico testado em vôo, em que foram organizados todos os 351 descritores diferentes coletados até então. Um segundo diferencial semântico foi gerado, sendo validado no mock-up. Foram considerados os resultados obtidos em vôo, bem como os novos descritores que surgiram nesse ensaio.

Como resultado dessa reformulação, houve um aumento no número de pares de adjetivos, sugerindo assim um aumento no número de participantes para a validação do diferencial semântico em ambiente de teste, ou seja, no *mock-up*, devido aos procedimentos metodológicos da técnica de análise fatorial.

3.2.12 Desenvolvimento e validação do diferencial semântico (DS)

Para a avaliação subjetiva do ruído foi utilizado o DS desenvolvido ao longo do estudo da semântica, que, ao final, foi composto por 37 pares de adjetivos (originados a partir dos adjetivos mais citados na etapa de coleta de descritores). Primeiramente foi aplicado um DS piloto, com 37 pares de adjetivos avaliando 3 sons, em 31 pessoas. Após ajustes de metodologia de aplicação e análise foi então realizada a aplicação em um grande grupo de participantes. Foram avaliados 17 sons, com os 37 pares, em 292 pessoas, sendo 58% do sexo masculino e 42% do sexo feminino, com média de idade de 24,4 anos e desvio padrão de 4,2 anos. Apenas 8 desses 292 participantes nunca tinham viajado de avião. Os demais tiveram uma média de 3 viagens de avião nos 12 meses antecedentes ao teste. Esta etapa da pesquisa, assim como a análise fatorial, está contemplada na dissertação de mestrado de Andrade (2007) e na tese de doutorado de Paul (2009). A análise fatorial foi realizada com o objetivo de agrupar as respostas e diminuir o número de pares, conforme sugerido por Osgood e cols., em 1957 e culminou nos pares a seguir (Tabela 1).

Tabela 1: DS com 21 pares divididos em quatro fatores.

Fatores	Itens (pares de adjetivos) e carga no fator
Fator 1: apreciação (explica 30% da variância):	agitado/calmo, (0,663) agradável/desagradável, (-0,694) irritante/não-irritante, (0,679) suave-não/suave, (-0,618) bom/ruim (-0,798)
Fator 2: adequação (explica 12% da variância):	aceitável/inaceitável, (0,784) adequado/inadequado, (0,483) cômodo/incômodo, (0,803) confortável/desconfortável, (0,604) estressante/não-estressante (-0,696) intenso/não-intenso, (-0,508) perturbador/ não-perturbador, (-0,658) suportável/insuportável, (0,573) tolerável/intolerável (0,655)
Fator 3: estrutura temporal (explica 5% da variância)	constante/inconstante, (0,808) contínuo/descontínuo, (0,784) estável/instável, (0,743) variado/não-variado, (-0,726)
Fator 4: intensidade (explica 4% da variância)	forte/fraco, (0,542) leve/pesado, (-0,525) vibrante/não-vibrante, (0,497)

3.2.13 Escolha e adaptação dos itens

Para contemplar o estudo dos métodos de avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves, objetivo geral deste trabalho e descrito no Capítulo 5 deste documento, propõe-se utilizar o diferencial semântico reduzido para oito pares de adjetivos (itens). Esses oito pares de adjetivos foram adaptados para os oito itens de avaliação em cada um dos outros quatro métodos de avaliação. Por exemplo, o par confortável/desconfortável, utilizado no diferencial semântico, foi adaptado para o item conforto no ordenamento, estimativa de magnitude e demais métodos.

Para a seleção dos oito itens, foram utilizados os gráficos de associação da Análise de Correspondências Múltiplas (ACM) (Figuras 3.8 a 3.11). A ACM é uma técnica de análise estatística exploratória, a qual permite resumir a maior parte das informações que oferecem as variáveis qualitativas em uma série de fatores quantitativos e explicar graficamente como se relacionam entre si certas variáveis.

Os 37 pares (provenientes de todas as etapas da coleta de descritores) foram separados em grupos de acordo com a proximidade no significado semântico para verificar se existia associação entre os pares que estavam divididos de acordo com a semântica, e aqueles que demonstravam comportamento semelhante nos gráficos de associação da ACM foram excluídos. Por último, foram excluídos os pares de difícil avaliação.

A associação das modalidades pode ser visualizada no gráfico fatorial projetando todas as modalidades (pontos ou valores da escala) de todas as escalas (variáveis) no primeiro plano fatorial. Neste gráfico, cada ponto representa uma modalidade, ou seja, um ponto (valor) da escala. Como cada escala semântica tem sete pontos (valores) diferentes e são 37 escalas semânticas (variáveis), serão ao todo 259 pontos no gráfico.

A legenda de cada uma das modalidades está formada por quatro caracteres: os dois primeiros representam o número de ordem da escala semântica no arquivo de dados, o terceiro é o traço e o quarto o valor da escala. Exemplo: à qualificação de um som com o valor 3 na escala de intenso/não intenso corresponde a legenda 24_3

A proximidade entre modalidades (distância entre pontos do gráfico) se interpreta de forma diferente, dependendo se elas pertencem à mesma escala semântica ou a diferentes escalas semânticas.

Duas modalidades de diferentes escalas estão próximas no plano se elas foram escolhidas conjuntamente por um grande número de indivíduos. Pode-se então dizer que elas estão associadas.

Duas modalidades da mesma escala estão próximas no plano se ambas as classes de indivíduos são semelhantes na escolha das outras escalas (semelhança entre classes de indivíduos). Serão apresentados alguns exemplos de divisão de grupos por significado semântico e respectivas trajetórias associadas.

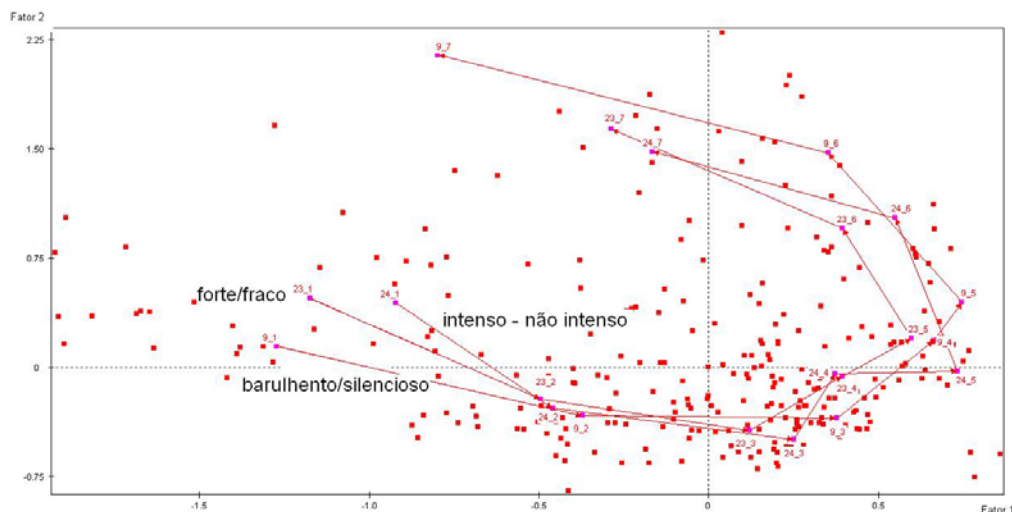


Figura 3.8 Projeção das modalidades dos atributos intenso/não intenso; forte/fraco; barulhento/silencioso no primeiro plano fatorial.

Unindo-se os pontos de cada escala (respeitando a ordem da escala (1-2-3-4-5-6-7)) visualiza-se a trajetória de cada uma delas. As trajetórias das três escalas analisadas (Figura 3.8) têm a mesma forma, porém os pontos da escala 9 (barulhento/silencioso) não estão tão próximos quanto os das outras duas escalas (deve-se analisar a proximidade dos valores correspondentes, ou seja, o valor 1 das três escalas, o valor 2 das três escalas, e assim por diante).

Com esta representação pode-se dizer que a escala forte/fraco está associada com a escala intenso/intenso. A escala barulhento/silencioso está associada, ainda que apresente algumas diferenças.

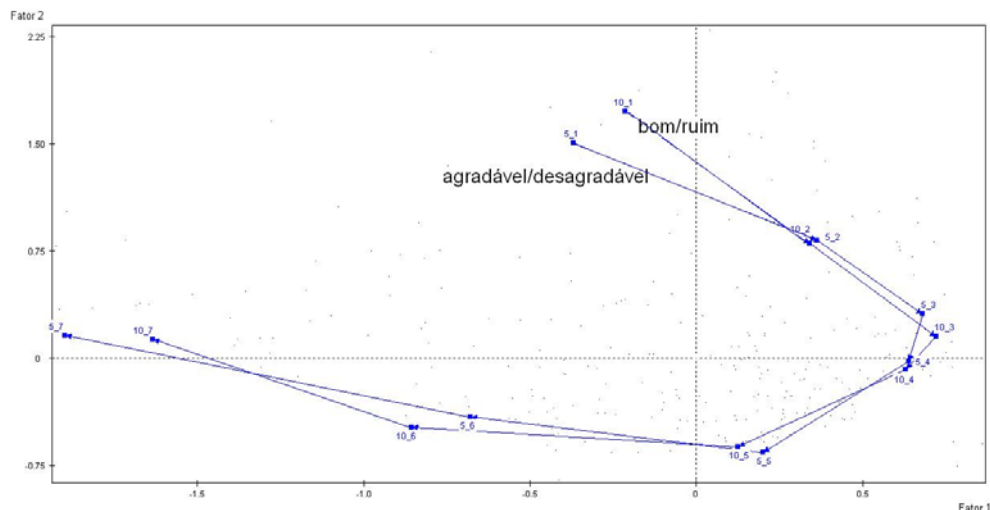


Figura 3.9 Projeção das modalidades dos atributos agradável /desagradável; bom/ruim no primeiro plano fatorial.

Como observamos na Figura 3.9, os dados, quando estão bem distribuídos, resultam em uma parábola. Observa-se associação entre os pares. Foi excluído o par bom/ruim.

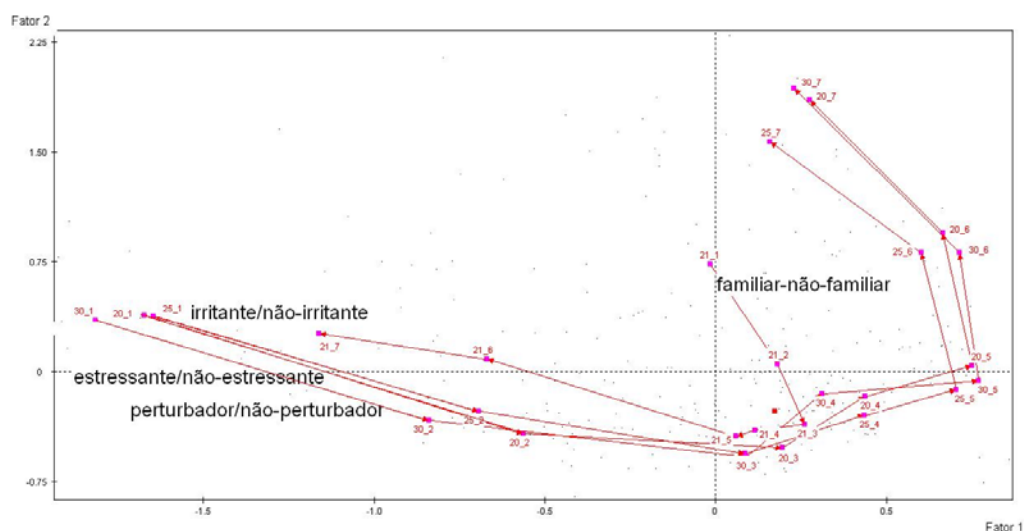


Figura 3.10 Projeção das modalidades dos atributos irritante/não-irritante; estressante/não-estressante; perturbador/não perturbador; familiar/não-familiar no primeiro plano fatorial.

Analisando a Figura 3.10, estressante e irritante estão bem associadas, perturbador um pouco menos (distâncias maiores nos valores 6 e 7). Familiar tem outra forma (além de diferente sentido da escala).

Irritante/não-irritante diferencia mais visualizando o plano fatorial fazendo uma análise de correspondências simples entre estressante/não-estressante e irritante/não-irritante. Com isso, foi decidido manter o par irritante/não-irritante e excluir o par estressante/não-estressante.

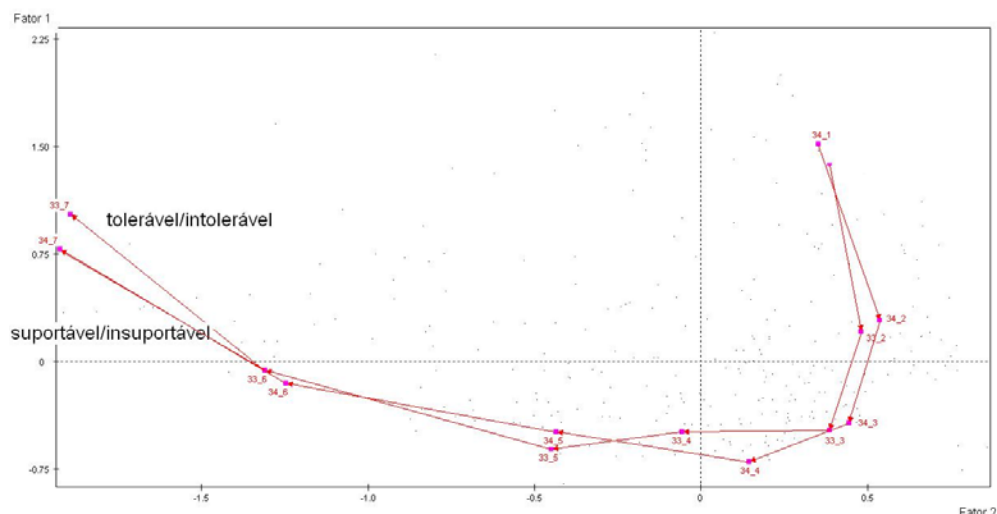


Figura 3.11 Projeção das modalidades dos atributos suportável/insuportável; tolerável/intolerável no primeiro plano fatorial.

Como observamos na figura 3.11, observa-se associação entre os pares. Foi excluído o par tolerável/intolerável.

Em resumo, por meio das trajetórias da análise de correspondências múltiplas conseguiu-se chegar à primeira proposta, apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Primeira proposta de redução do DS

Primeira proposta de redução do DS	
1)	adequado/inadequado
2)	agradável/desagradável
3)	confortável/desconfortável
4)	estável/instável
5)	intenso/não-intenso
6)	irritante/não-irritante
7)	variado/não-variado
8)	suportável/insuportável

Após aplicar em um grupo de pessoas, o par variado/não variado não foi muito bem compreendido pelos sujeitos, fato verificado pelos comentários durante a avaliação, e foi trocado pelo aceitável/não-aceitável para facilitar a compreensão, culminando assim na segunda proposta, apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Segunda proposta de redução do DS

Segunda proposta de redução do DS	
1)	adequado/inadequado
2)	agradável/desagradável
3)	confortável/desconfortável
4)	estável/instável
5)	intenso/não-intenso
6)	irritante/não-irritante
7)	aceitável/não-aceitável
8)	suportável/insuportável

Para a terceira proposta, mantiveram-se os mesmos pares da segunda proposta, excetuando-se o par adequado/inadequado. Esse par apresentou muita polêmica quando foi julgado. As pessoas não entendem o que é um som adequado. A terceira proposta é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Terceira proposta de redução do DS

Terceira proposta de redução do DS	
1)	agradável/desagradável
2)	confortável/desconfortável
3)	estável/instável
4)	intenso/não-intenso
5)	irritante/não-irritante
6)	aceitável/inaceitável
7)	suportável/insuportável

Todavia, nesta terceira proposta faltava um par para oito itens. Analisando os resultados, o par perturbador/não-perturbador se mostrou uma boa escolha quando perguntado aos pesquisadores do LVA. Logo, a escolha dos pares foi concluída, sendo apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Proposta final de itens para estudo dos métodos

Proposta final de itens	
1)	agradável/desagradável
2)	confortável/desconfortável
3)	estável/instável
4)	intenso/não-intenso
5)	irritante/não-irritante
6)	aceitável/inaceitável
7)	suportável/insuportável
8)	perturbador/não-perturbador

Após ter feito a escolha dos pares para compor o DS, foi necessário adaptar os itens para os outros métodos.

Na comparação pareada, a frase ficou: “Escolha o som: mais agradável, confortável, estável, intenso, irritante, aceitável, suportável, perturbador”.

Para a estimativa de magnitude: “Atribua um valor de 0 a 10 conforme”: a agradabilidade do som, o conforto do som, a estabilidade do som, a intensidade do som, a irritação causada pelo som, a aceitabilidade do som, a suportabilidade para o som, a perturbação causada pelo som”.

No ordenamento: “Ordene os sons classificando em primeiro o mais: agradável, confortável, estável, intenso, irritante, aceitável, suportável, perturbador”.

Para a escala de respostas: “Avalie na escala conforme: a agradabilidade do som, o conforto do som, a estabilidade do som, a intensidade do som, a irritação causada pelo som, a aceitabilidade do som, a suportabilidade para o som, a perturbação causada pelo som.”

3.3 Conclusões

O objetivo do estudo semântico foi extrair atributos que qualifiquem o som do interior do avião. Os atributos foram, na maioria, revelados por adjetivos. Geralmente as pessoas têm dificuldade em descrever a qualidade dos eventos sonoros (Dubois e cols., 2006; Guastavino, 2003; Paul, 2005). Todavia, neste estudo, surpreende o fato das pessoas utilizarem uma grande gama do vocabulário.

Tradicionalmente, a gramática divide os adjetivos em duas categorias semânticas: por um lado os adjetivos “objetivos”, que caracterizam o som em forte, fraco, intenso, agudo, grave; e, por outro lado, os adjetivos “subjetivos”, que transportam para respostas emocionais. Apesar de as pessoas terem pontuado muitos adjetivos, a maioria é caracterizada pelas respostas às emoções causadas pelo ruído no interior do avião. Poucos foram os adjetivos encontrados que são compartilhados por grande número de pessoas, para a caracterização do fenômeno físico em si (por exemplo, intenso; agudo; grave). Pelo fato de as escalas compartilhadas por um grupo de pessoas falantes do Português do Brasil estarem relacionadas às emoções causadas pelo ruído, a construção de instrumentos para a avaliação do conforto acústico se resume a estas escalas (confortável, agradável, aceitável) dificultando analisar de maneira objetiva, o fenômeno em questão. O fato de estes descritores estarem atrelados a sentimentos provoca a dispersão dos dados, uma vez que cada pessoa interpreta e avalia de maneira diferente.

Capítulo 4: Desenvolvimento de interface (software) para operacionalização dos ensaios com os métodos para avaliação subjetiva do conforto

Em qualquer tipo de investigação científica são coletados ou produzidos dados a serem transformados em informações. Os processos pelos quais isso acontece envolvem a coleta, organização e análise dos dados.

Para ajudar no processo de coleta, organização e análise dos dados, são utilizadas ferramentas de estatística e lógica, interfaces desenvolvidas para cada tarefa, tecnologias como computadores de mão, entre outras. Todas as formas de comunicação e interfaces apresentam vantagens e desvantagens. Quando os ensaios são realizados por meio manual, “lápiz e papel”, são mais fáceis de ser implementados do que interfaces computadorizadas e existem vários guias disponíveis para a elaboração de questionários (Oborne e Clarke, 1973; Brace, 2004; Paul e cols, 2008).

Em substituição aos formulários em papel, que foram utilizados nos primeiros instrumentos desenvolvidos para esta pesquisa, neste trabalho foi utilizado um laptop ligado a uma tela sensível ao tato. Este sistema será utilizado para o auxílio do pesquisador na realização das pesquisas de campo, permitindo um rápido acesso a dados e também uma instrução da tarefa padronizada, gerando um banco de dados confiável. Permite ao usuário um maior controle dos sons que ele ouve, sem depender do pesquisador, e facilita a tabulação dos dados. Também passa mais credibilidade ao sujeito a respeito da pesquisa.

4.1 Interfaces

A interface de avaliação de sons para os cinco métodos de avaliação subjetiva foi desenvolvida no Laboratório de Vibrações e Acústica da USFC, com o *software Labview da National Instruments*. O software é composto por várias partes que serão descritas a seguir.

4.1.1 Configuração

A interface permite que o pesquisador cadastre três sons e oito pares de adjetivos para o julgamento com o Diferencial Semântico, Ordenamento, Comparação Pareada, Escala de Resposta e Estimativa de Magnitude. Também é possível escolher se os adjetivos e os sons serão ou não embaralhados, delimitar o tempo de ambientação, escolher o software de

reprodução do som, do filme de ambientação¹⁴ e o local de armazenamento das respostas (Figura 4.1). Como o som não é reproduzido pelo software, mas sim por programas específicos e determinados pelo experimentador, estruturas de comando para abrir e fechar o programa de reprodução do som devem ser informadas pelo experimentador. O objetivo é poder utilizar quaisquer formatos digitais de áudio ou vídeo e deixar o experimentador escolher o software mais apropriado para reprodução.

Nos ensaios no LVA foi escolhido o software HEADAudioRecorder (freeware da HEAD-acoustics) para reprodução de arquivos de som em formato .dat ou .hdf. Desta forma, junto ao equalizador PEQV da mesma HEAD-acoustics, é possível garantir a equalização adequada dos sons com o volume certo. A vantagem é que o software HEADAudioRecorder, ao tocar sons no formato .dat ou .hdf, sempre repassará as informações do som real ao equalizador para que este ajuste em tempo real a equalização e o volume conforme as informações adicionais contidas no arquivo de som em formato .dat ou .hdf. Desta forma, até sons com faixas dinâmicas e equalizações diferentes podem ser tocadas no mesmo ensaio sem que haja necessidade de interferência do experimentador.

Para reprodução do vídeo, que é opcional, foi escolhido o software livre fsplayer¹⁵. Este software pode ser configurado facilmente para abrir sempre em tela cheia e fechar após término do vídeo, sem intervenção necessária do experimentador.

A versatilidade do software para avaliação dos sons e a possibilidade de se escolher os softwares para reprodução dos sons e do vídeo faz com que o experimentador tenha o máximo de flexibilidade.

Quanto à lista dos itens que deve ser informada, cabe ressaltar que aqui o experimentador ou informará um arquivo.txt já existente ou cadastrará itens novos. Os itens são frases ou expressões adequadas para expressar a tarefa. Certos cuidados devem ser tomados para deixar a tarefa bem compreensível e não ambígua para o ouvinte. Isso requer experiência do experimentador e a realização de pré-testes. Destaca-se aqui a atividade de avaliação que deve ser compreendida pelos participantes da pesquisa. Não é suficiente estar clara para o pesquisador. As instruções devem ser testadas para evitar respostas ao acaso.

Os itens podem ser apresentados de forma aleatória para diminuir efeitos de ordem. Da mesma forma, os sons podem ser embaralhados. O software gravará a ordem de reprodução junto aos resultados. Uma vez armazenados todos os dados de configuração do

¹⁴ Para padronizar a explicação dada ao participante sobre a tarefa a ser executada, bem como ambientar a audição, foi produzido um filme, por meio do software *Windows Movie Maker*, que além de fornecer instruções tinha para ambientação, o ruído do interior de aeronave, ao fundo.

¹⁵ Disponível em <http://www.download25.com/full-screen-player-download.html>

ensaio, ao iniciar o programa o pesquisador pode escolher se quer iniciar os ensaios com as configurações já feitas ou se quer configurar novo ensaio.

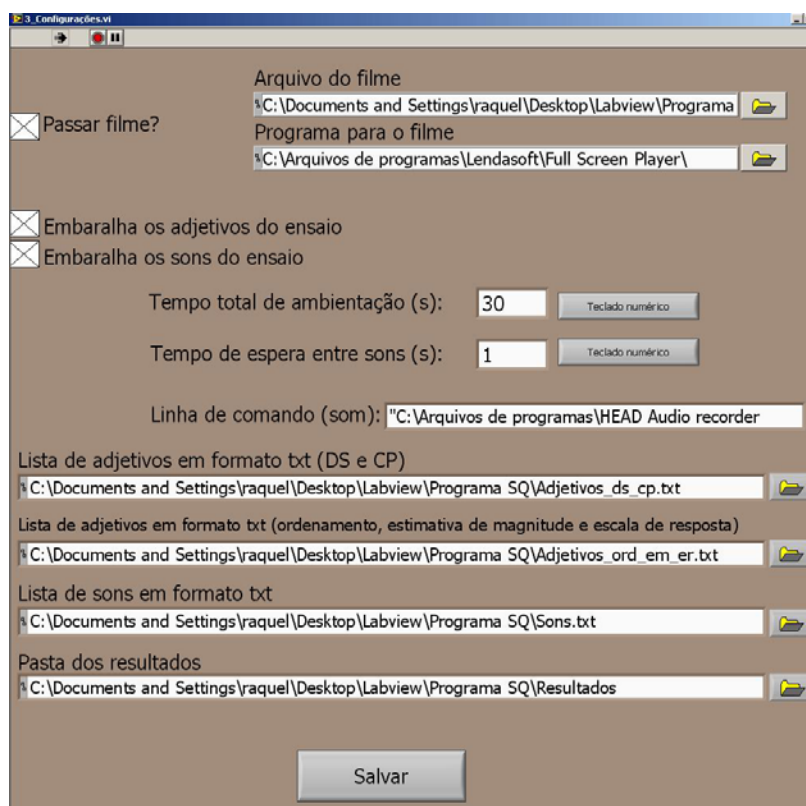


Figura 4.1 Tela de configurações.

4.1.2 Cadastro

A primeira tela da interface é o cadastro do participante com um número já adquirido anteriormente (Figura 4.2). Posteriormente é apresentado um questionário inicial contendo informações básicas (dados demográficos). A verificação do número de viagens e uma pergunta sobre a ocorrência de perturbação causada pelo ruído no interior do avião foram adicionadas para agrupar as opiniões dos participantes (Figura 4.3).

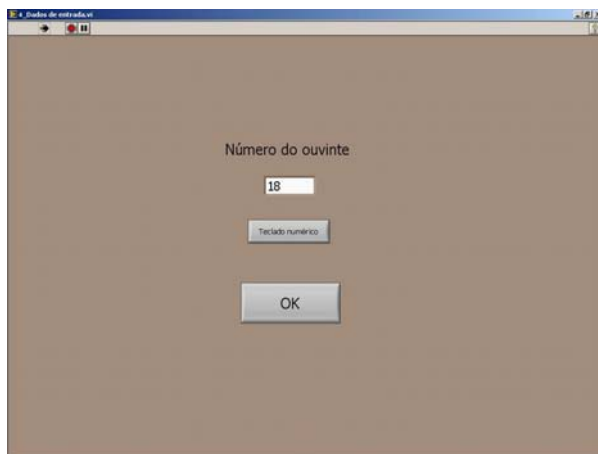


Figura 4.2 Cadastro do número do ouvinte.

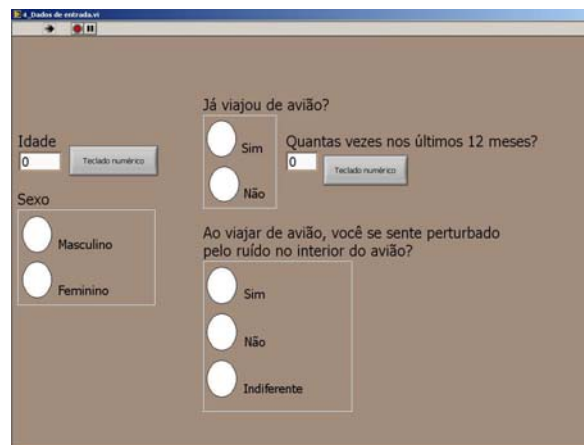


Figura 4.3 Interface de coleta de dados demográficos.

4.1.3 Familiarização e Ambientação

Chama-se de familiarização quando os sons a serem julgados são apresentados aos ouvintes antes da própria sessão de julgamento. Nesse caso é importante não fazer com que os sujeitos ouçam por muito tempo estes sons, mas que seja suficiente para conhecer os sons. Para os ensaios desta tese, na familiarização, os sons foram apresentados em 30 segundos (10 segundos para cada som).

Porém, sabe-se que a audição humana é um sistema variante no tempo, especialmente em função da adaptação fisiológica ao volume do som, e que essa variância pode influir na avaliação dos sons. Para evitar ou pelo menos diminuir esse fenômeno, o software conta com uma ferramenta. Além de escutar os sons, os sujeitos também são submetidos à apresentação de cinco minutos de um som de banda larga capaz de provocar a adaptação fisiológica da audição. Esse som é característico do interior de aeronaves e apresentado simultaneamente a um filme de explicação sobre o que o participante deverá fazer. Sugerem-se mais estudos sobre o tempo de ambientação apropriado para obtenção de resultados fidedignos.

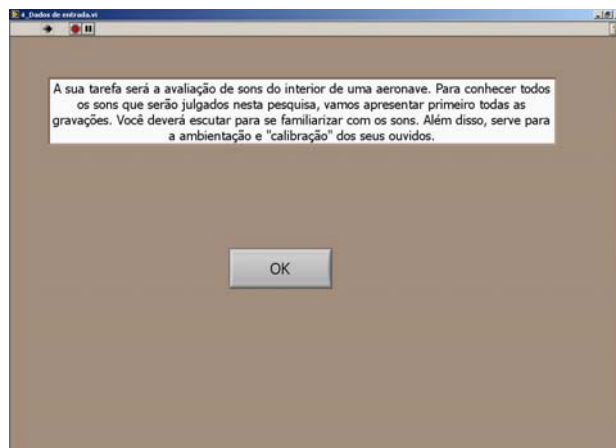


Figura 4.4 Interface de familiarização com os sons.

4.1.4 Treinamento

Após a familiarização e ambientação o participante é solicitado a fazer o treinamento do primeiro teste, quando ele aprende como deve ser avaliado o som através deste método. No caso do DS (Figura 4.5) é utilizada a técnica da tarefa secundária, onde ele avalia o tempo (clima) do dia. Se o sujeito considera o clima bom, ele vai marcar mais próximo do adjetivo bom conforme sua percepção sobre o dia. Se ele acha ruim, ele fará o mesmo para o adjetivo ruim. Se ele não considera nem ruim, nem bom, ele marca na escala do meio. O treinamento é fundamental para a verificação do aprendizado sobre a avaliação que deverá fazer.

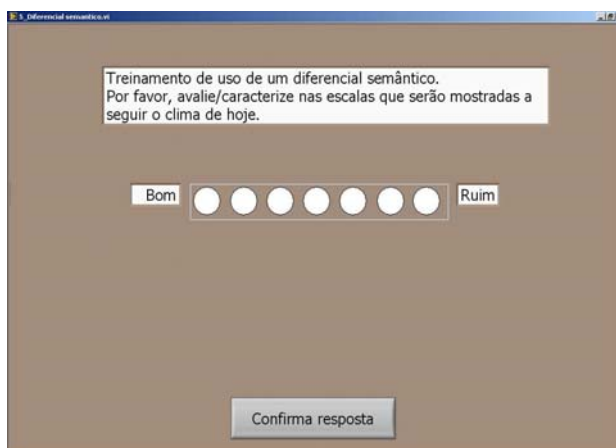


Figura 4.5 Treinamento da avaliação com o DS.

Para cada método existe um treinamento. As telas do treinamento para os métodos do ordenamento, Escala de Resposta, Comparação Pareada e Estimativa de Magnitude seguem em seqüência nas Figuras 4.6; 4.7; 4.8 e 4.9.



Figura 4.6 Treinamento da avaliação com o Ordenamento.

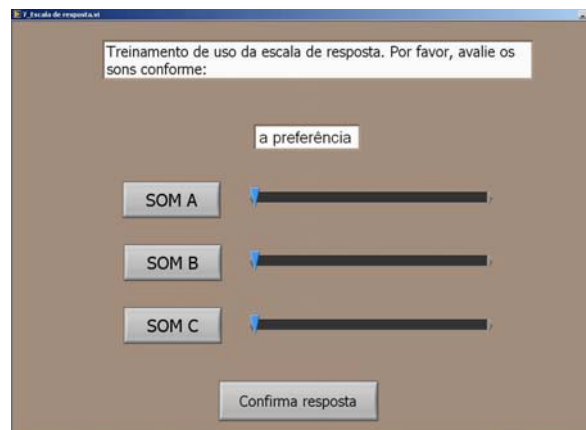


Figura 4.7 Treinamento da avaliação com a ER.

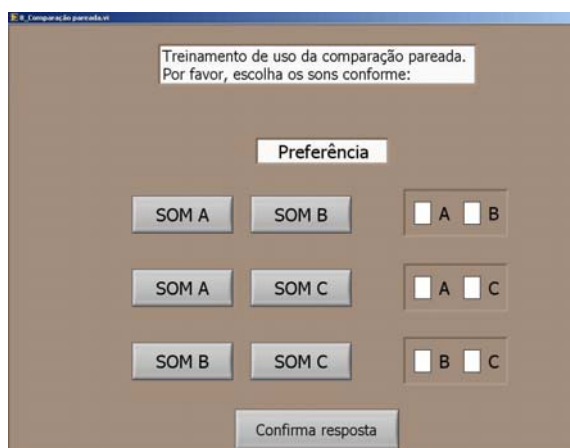


Figura 4.8 Treinamento da avaliação com a CP.

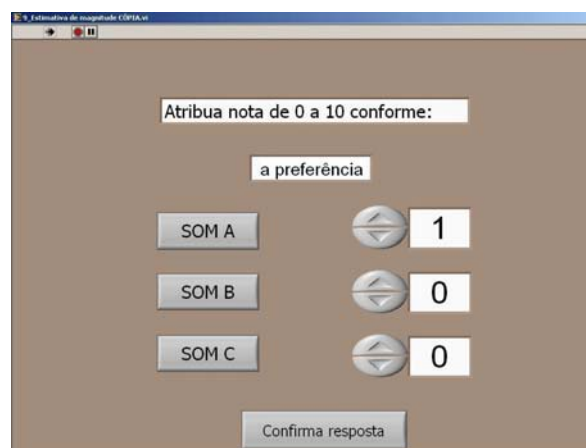


Figura 4.9 Treinamento da avaliação com a EM.

4.1.4.2 Avaliação

Para a avaliação dos sons em si, a criação da interface possibilitou:

- A facilitação para o usuário, deixando-o livre para responder durante o tempo que fosse necessário;
- A padronização da aplicação dos ensaios;
- Agilização na tabulação dos resultados, evitando o desperdício de tempo e a redução do número de erros que possam ocorrer na tabulação manual dos dados;
- Para o DS, as escalas são apresentadas uma a uma, evitando que o ouvinte mude de opinião e tente ser coerente na resposta. A idéia é que ele avalie o som espontaneamente, de acordo com a escala que aparecer. Uma vez marcada e confirmada, o sujeito não pode voltar atrás. Entretanto, observa-se que, para julgar o som, o individuo utiliza experiências vividas, comparando-as;
- Facilitou a apresentação aleatória dos sons;

- Apresentação aleatória dos itens, evitando influência da aprendizagem e do cansaço em algumas escalas e sons específicos;
- Reduziu a expectativa do participante com a barra de status, a qual informava ao participante, de maneira visual, em que etapa da avaliação ele estava e quanto faltava para finalizar;
- Armazenamento dos dados. Uma grande contribuição deste software foi a facilidade no acesso das informações, o qual gera um arquivo “.txt” que pode ser facilmente aberto no Excel.

Cabe ressaltar que o software sofreu ajustes durante o processo, em busca do aperfeiçoamento para aplicação dos métodos escolhidos. As interfaces de cada método serão apresentadas a seguir, nas Figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

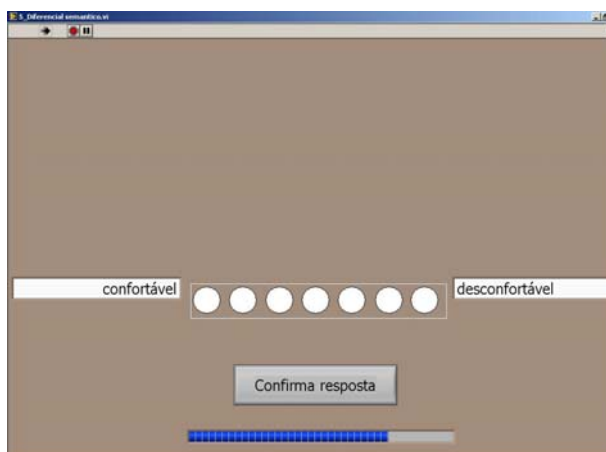


Figura 4.10 Interface do DS.

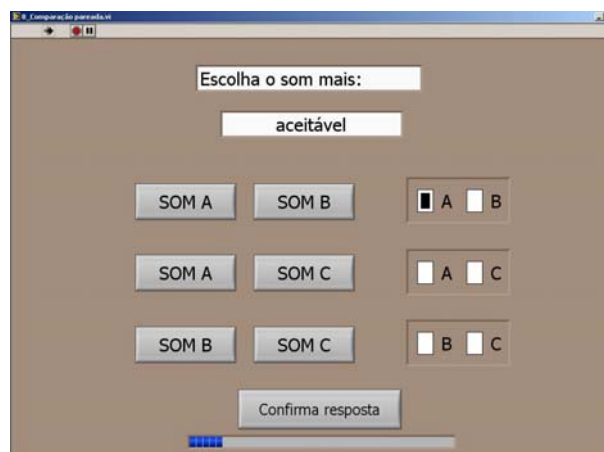


Figura 4.11 Interface da CP.



Figura 4.12 Interface do Ordenamento.



Figura 4.13 Interface da ER.

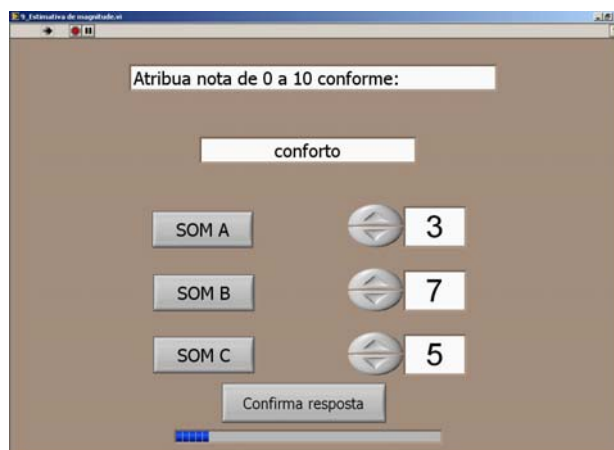


Figura 4.14 Interface da EM.

4.2 Conclusões

A implementação do software com interfaces de avaliação de sons representam avanço no que diz respeito à qualidade e ao rigor metodológico no emprego de métodos subjetivos para avaliação de fenômenos acústicos. A interface possibilitou a coleta de dados em formato eletrônico, de forma rápida e controlada. Desta forma, foram dispensadas muitas horas de tabulação de dados, tarefa na qual a ocorrência de erros é muito grande. Além disso, podem ser obtidos dados que, com questionários em papel, não poderiam ser obtidos com tanta facilidade, por exemplo, o tempo requerido para avaliar cada um dos sons, em cada uma das escalas do diferencial semântico.

Ainda, foi possível padronizar parcialmente os ensaios e deixar os sujeitos mais pertos de uma situação real, na qual naturalmente não há experimentador junto. As pessoas puderam utilizar o tempo que consideraram necessário para avaliar os sons, sem que o experimentador interferisse. Além do significativo auxílio na tabulação de dados, o rigor metodológico e as facilidades propostas, a interface foi fundamental para contemplar o objetivo geral deste trabalho.

Capítulo 5: Estudo dos métodos para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves

Neste capítulo aborda-se o desempenho dos cinco métodos, ER, EM, DS, CP e ORD na avaliação do conforto acústico para o interior de aeronaves. No final deste capítulo, são apresentados os parâmetros psicoacústicos calculados com auxílio de um software e verificadas possíveis relações entre esses parâmetros e as avaliações subjetivas.

5.1 Método

O desenho experimental contemplou a avaliação de três sons por meio de cinco métodos. Para cada método foram utilizados oito itens, definidos no Capítulo 3. Para a aplicação dos métodos foi utilizado o software apresentado no Capítulo 4. Um desenho esquemático do estudo pode ser melhor visualizado na Figura 5.1

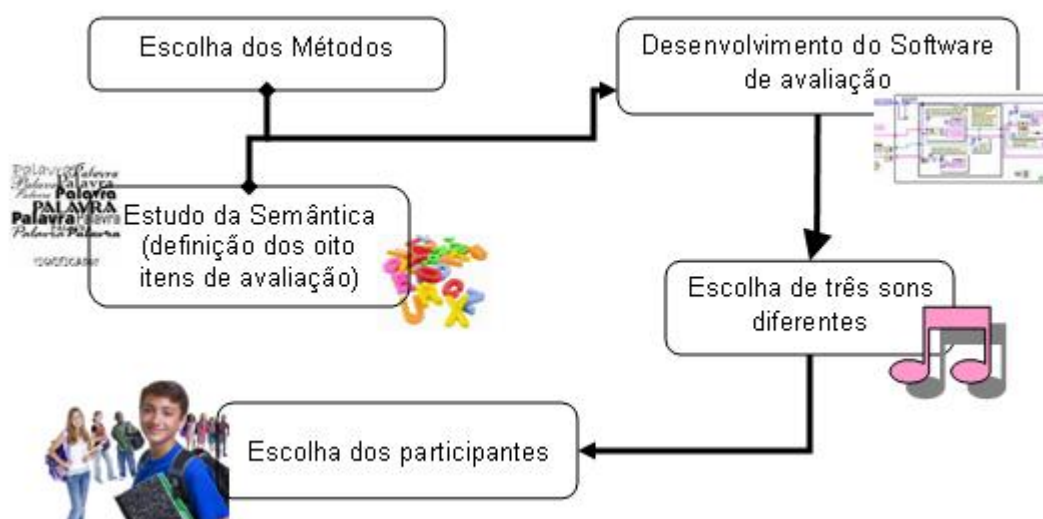


Figura 5.1 Desenho da avaliação do conforto acústico para o interior de aeronaves.

5.1.2 Caracterização da amostra e critérios de inclusão

Para participar da pesquisa, todos os voluntários deveriam ter viajado pelo menos uma vez de avião, possuir mais de 18 anos e não apresentar alterações auditivas. Os participantes fazem parte de um banco de ouvintes do Laboratório de Vibração e Acústica da UFSC. A amostra de estudo é caracterizada por estudantes de graduação e pós-

graduação da Universidade Federal de Santa Catarina. Os participantes foram submetidos a uma avaliação auditiva preliminar, para descartar qualquer tipo de alteração que impossibilitasse o julgamento dos sons, ou seja, aqueles que tinham limiares fora dos padrões de normalidade foram descartados. Todos os participantes leram e assinaram o termo de explicação e concordância.

5.1.3 Escolha e análise dos sons

Foram escolhidos três sons gravados em um voo real de uma aeronave em condição de cruzeiro. Para a gravação foi utilizado um equipamento de gravação binauricular portátil. Para a seleção dos sons o principal parâmetro adotado foi que os sons fossem diferentes. Essa escolha teve como objetivo facilitar a avaliação por parte dos ouvintes leigos através dos diferentes métodos. Isto porque foi constatado, pelos comentários dos participantes ao longo da pesquisa Qualidade Sonora, desenvolvida paralela a esta tese, que sons semelhantes dificultam a avaliação. Gerges e cols., (2008) ao avaliarem dois grupos de sons, um grupo de sons originais e um grupo dos mesmos sons com o *loudness* equalizado, ou seja, com o mesmo volume, apontou que as pessoas são mais consistentes ao avaliar os sons originais, ou seja, mais diferentes. Esses resultados também foram evidenciados por Buss e cols., 2007.

Sabe-se que três amostras de som são pouco representativas de uma aeronave, uma vez que o ruído no seu interior pode variar muito ao longo da cabine e também durante as diferentes condições de voo, e que conclusões acerca das avaliações dos sons não poderão ser generalizadas. Todavia, optou-se por escolher três sons para diminuir a tarefa associada a cada um dos cinco métodos, visto que o objetivo principal deste trabalho é o estudo dos métodos. Com o aumento do número de sons, a confiabilidade da resposta subjetiva diminui.

Para a reprodução dos sons, os mesmos cuidados descritos no Capítulo 3 para a reprodução fidedigna dos sons foram considerados.

5.1.4 Escolha dos métodos

Na área da acústica, principalmente em estudos associados à indústria automotiva, o diferencial semântico, a comparação pareada, o ordenamento, a estimativa de magnitude e as escalas de resposta estão sendo utilizadas com o intuito de avaliar a percepção subjetiva do ruído. A escolha desses métodos foi baseada nos estudos de Guildford, 1954; Nunally, 1978; Gusk, 1997; Pasquali, 1997; Otto e cols, 2001 e Civile e Seltsam, 2003. Eles serão aplicados neste estudo de avaliação do conforto acústico dentro de aeronaves. Foi premissa do estudo a apresentação aleatória dos métodos para garantir validade da

inferência na presença de perturbações não especificadas, como por exemplo, que o resultado da avaliação dependesse da ordem de apresentação do método (Box e cols.1989).

5.1.5 Escolha dos atributos (itens)

A escolha dos oito atributos está descrita no Item 3.2.13. A aleatoriedade na apresentação dos itens foi condição do estudo para eliminar fontes de variabilidade não desejadas, como por exemplo para evitar que o resultado da avaliação variasse de acordo com a ordem de apresentação dos itens.

Após a seleção dos itens, métodos e sons, os participantes foram solicitados a avaliar o conforto acústico do interior de aeronaves (Figura 5.2). Os resultados serão apresentados a seguir.

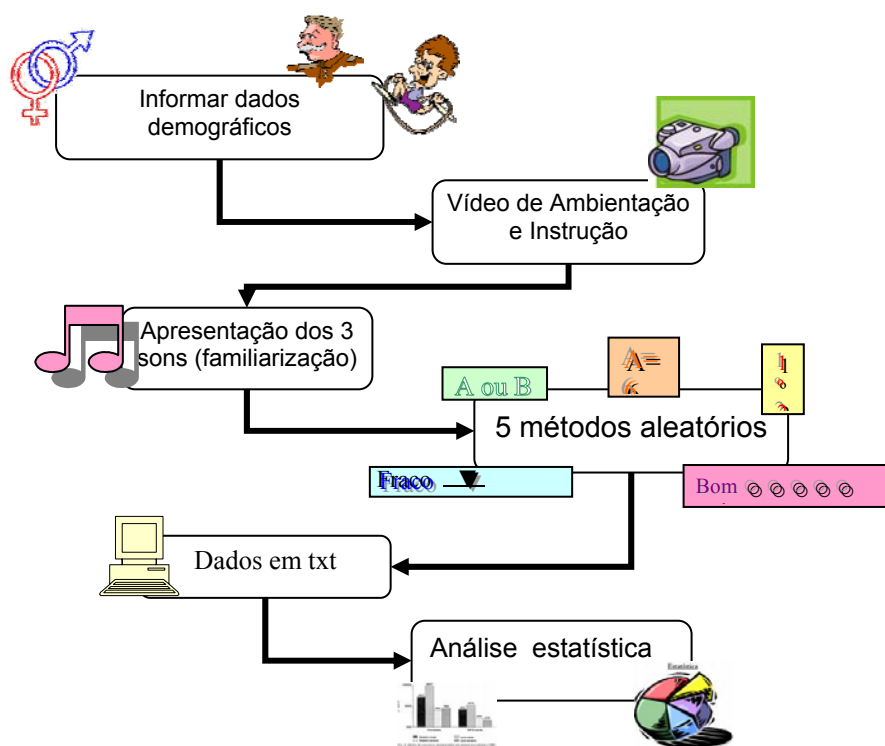


Figura 5.2 Organograma do ensaio e processamento dos dados.

5.2 Resultado e análise dos dados

Participaram 60 pessoas, 43 do sexo masculino e 17 do feminino. As idades variaram entre 18 e 53 anos, com média de 26,25 anos e desvio padrão de 6,29 anos. Todos haviam viajado pelo menos uma vez de avião. A média de viagens realizadas nos 12 meses

anteriores ao ensaio foi de 3,1 ainda que 41% não tenham viajado nos 12 meses antecedentes ao ensaio (Figura 5.3).

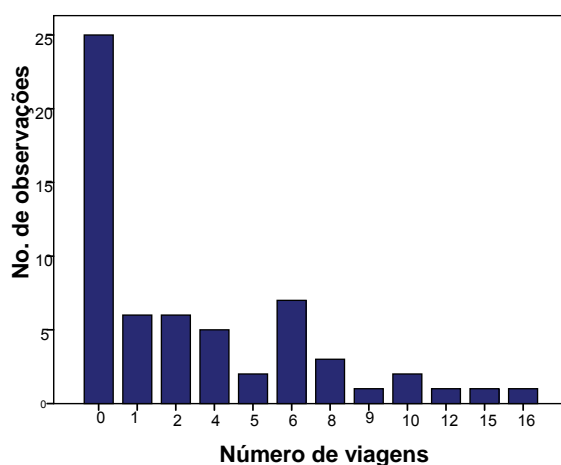


Figura 5.3 Histograma do número de viagens realizadas nos 12 meses anteriores ao ensaio.

Os participantes foram questionados se o ruído no interior da aeronave causava algum tipo de desconforto. Dos 60 participantes (Figura 5.4), 21 responderam que não, o ruído não causa desconforto, 21 responderam que sim e 18 responderam indiferente.

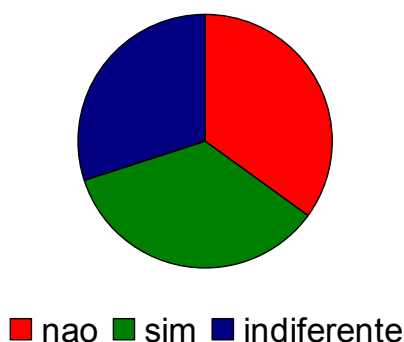


Figura 5.4 Gráfico da perturbação causada pelo ruído no interior de aeronave.

Para análise e organização dos resultados, inicialmente utilizou-se métodos estatísticos univariados que resumem as observações atributo por atributo. Esses métodos variam com a natureza dos dados, ou seja, dependendo do tipo de dados coletados foram aplicados diferentes testes. Em seguida, serão apresentados os métodos bivariados, que resumem a relação entre dois atributos. Finalmente, utilizou-se métodos estatísticos multivariados que sintetizam a relação entre os oito atributos, considerando todos os indivíduos. Esses métodos também são adequados conforme a natureza dos dados. Essa ordem de apresentação foi utilizada para cada método.

5.3 Escala de Resposta (ER)

Cada som foi avaliado por meio de oito atributos (itens), sendo que para cada atributo o participante foi solicitado a marcar em um ponto de uma reta¹⁶ não graduada. Nesta reta apresentaram-se apenas os valores extremos 0 e 10 com o objetivo de padronizar a avaliação. Estes pontos foram convertidos pelo software em números reais, proporcionais ao ponto marcado na escala pelo sujeito. No caso de a localização do ponto marcado corresponder a um número não inteiro, este foi mantido com uma casa decimal após a vírgula.

5.3.1 Resultados da Escala de Resposta

As avaliações feitas por meio da escala de resposta estão apresentadas a seguir, divididas por item de avaliação.

Para o item do conforto, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.1, pode-se observar que a mediana do som C indica que metade dos participantes avaliou o conforto acima de 7,5. Resultado que contrasta com as medianas dos sons A e B, para os quais metade das observações apresentam valores abaixo de 3. Analisando a média, observa-se que esta segue uma tendência crescente do som A, B e C. Ressalta-se o alto valor da média do som C, confirmando assim ser percebido como muito mais confortável. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações do conforto medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons.

Tabela 5.1 Avaliações do item conforto na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	9,6	10	10
Mediana	1,70	2,95	7,55
Média	2,47	3,69	6,59
Desvio Padrão	2,14	2,45	2,45

Analisando graficamente (Figura 5.5), é possível observar que as avaliações do conforto do som A, B e C se distribuem diferentemente. As avaliações para o conforto do som A estão concentradas nos valores inferiores da escala, o que indica que a maior parte

¹⁶ A reta foi baseada na escala de Stone, a qual utiliza uma linha reta geralmente não numerada com ancoras nos extremos.

dos participantes considera pouco confortável. As avaliações do som B estão distribuídas de forma mais uniforme em todos os valores da escala, com uma concentração nos valores intermediários. Para o som C, os participantes concentraram suas avaliações nos valores superiores da escala.

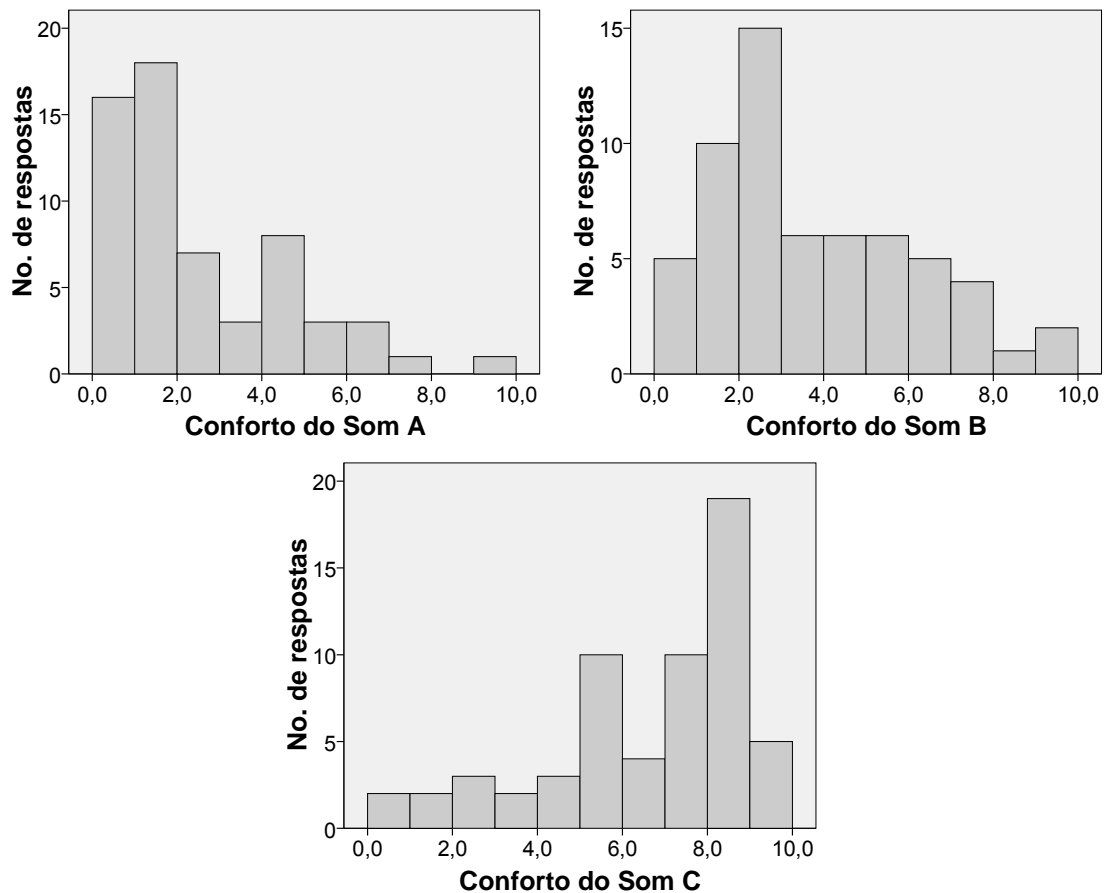


Figura 5.5 Histogramas das avaliações do item conforto na ER para o som A, B e C.

As diferenças na distribuição das avaliações do conforto dadas pelos participantes aos sons A, B e C pode ser melhor visualizada por meio do gráfico Diagrama de caixa (Figura 5.6), o qual mostra que a metade central das avaliações do som C é superior às dos sons A e B.

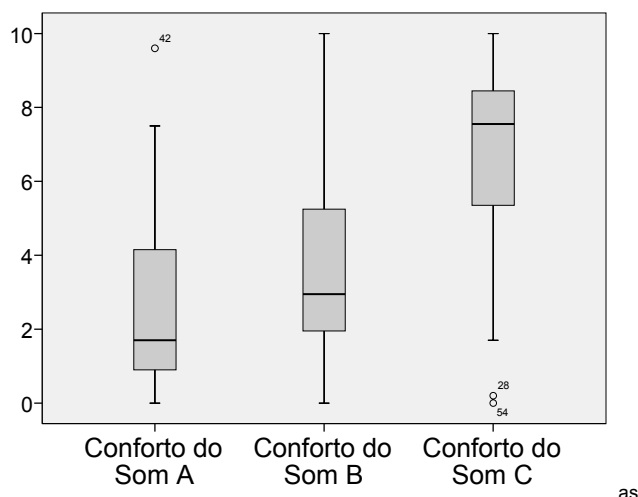


Figura 5.6 Diagrama de caixa das avaliações do item conforto na ER para os sons A, B e C.

Considerando que a distribuição das avaliações do conforto não cumpre com os pré-requisitos necessários (normalidade e simetria) para processar o teste Anova paramétrico, optou-se pelo teste Anova não-paramétrico, para verificar se existem diferenças significativas entre as médias de avaliação dos 3 sons. Por meio do teste de Kruskal-Wallis observa-se que existem diferenças de avaliação dos sons estatisticamente significativas, para um nível de significância $\alpha = 0,05$.

Uma vez verificado que existem diferenças, para identificar qual das médias dos sons difere da média dos demais, foram processados testes *Post Hoc*s. Para identificar as diferenças nas médias entre os pares de sons, utilizou-se o T test e o Duncan, considerando a homogeneidade das variâncias do conforto nos três sons. Ambos apresentaram resultados semelhantes. Ao comparar a diferença das médias do conforto entre som A e som B, esta se resulta significativa (-1,2250; $p=0,005$); o mesmo para som A e som C (-4,1233; $p=0,000$) e som B e C (-2,3450; $p=0,000$). Com estes resultados confirma-se que o som C é percebido como muito mais confortável quando comparado ao som A e B.

Os itens aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade, irritabilidade e perturbação apresentaram observações semelhantes às do conforto e, por esse motivo, serão apresentados em conjunto.

Para o item aceitabilidade, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.2, pode-se observar que a metade dos participantes avaliou a aceitabilidade do som C acima de 7,5, enquanto que a metade dos participantes avaliou o som A e B abaixo de 3,5. Estes resultados são apontados pelas medianas.

Analisando a média, observa-se que esta segue uma tendência crescente do som A, B e C, ressaltando o alto valor da média para o som C. Considerando os valores mínimos e

máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons. Essas constatações, acerca da média, valores mínimos e máximos, e o desvio padrão foram as mesmas para aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade (Tabelas 5.2; 5.3 e 5.4)

Tabela 5.2 Avaliações do item aceitabilidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0,6
Valor máximo	9,3	10	10
Mediana	2,20	3,20	7,60
Média	2,84	3,80	6,97
Desvio Padrão	2,32	2,43	2,19

Quanto à agradabilidade, vide Tabela 5.3, metade das observações para o som C foi superior a 6,5, enquanto que metade das observações para o som A e B foram menores que 2 e 3 respectivamente.

Tabela 5.3 Avaliações do item agradabilidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	8,2	10	10
Mediana	1,75	2,80	6,80
Média	2,24	3,25	6,03
Desvio Padrão	1,96	2,36	2,51

Conforme as estatísticas apresentadas na Tabela 5.4 para o item suportabilidade, observa-se que metade das observações foram maiores que 2; 3,5 e 7 para A, B e C respectivamente.

Tabela 5.4 Avaliações do item suportabilidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	9,3	10	10
Mediana	2,1	3,95	7,15
Média	2,71	4,18	6,53
Desvio Padrão	2,02	2,46	2,37

Assim como para o conforto, as diferenças nas distribuições das avaliações para a aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade, dadas pelos participantes aos sons A, B e C, podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.7, a qual mostra que a metade central das avaliações do som C são superiores às dos sons A e B.

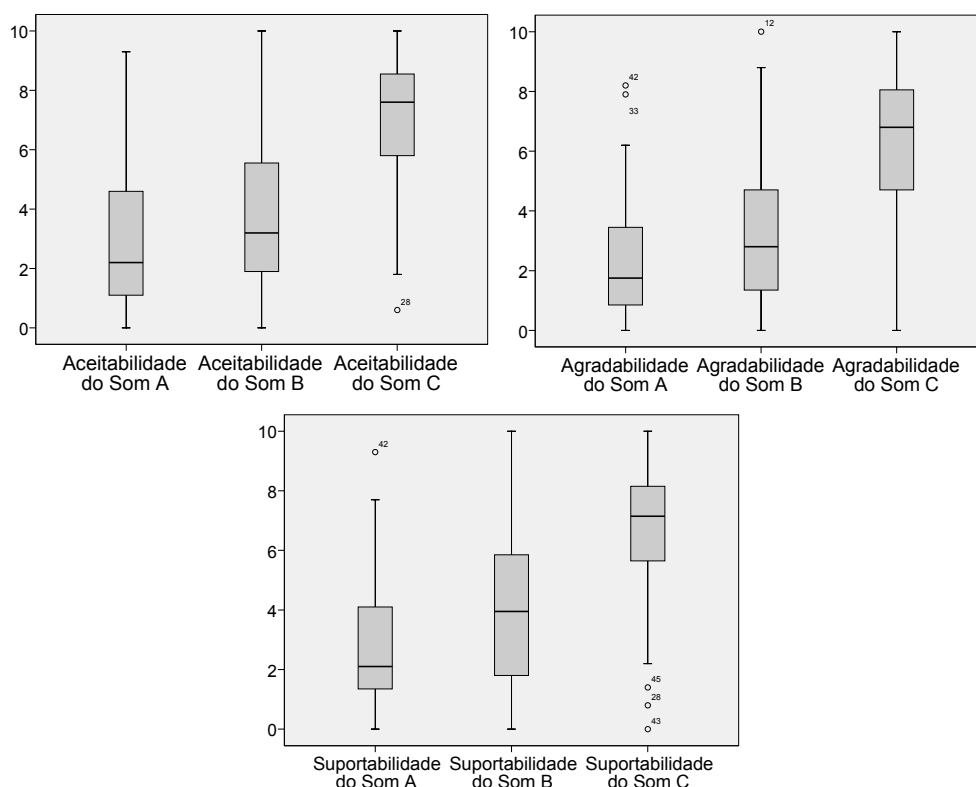


Figura 5.7 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade na ER para os sons A, B e C.

Para a irritabilidade e a perturbação, as conclusões são próximas daquelas associadas ao conforto. Todavia, por se tratar de polaridade invertida, encontram-se os maiores resultados para o som A. De acordo com as estatísticas apresentadas na Tabela 5.5, a mediana informa que metade das observações foram acima de 7. Para o som B e C, metade das observações foi feita acima de 5,5 e 2,5 respectivamente.

Quanto à média, observa-se que esta segue uma tendência decrescente do som A ao C, ressaltando o alto valor da média para o som A. Considerando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons. Essas constatações, acerca da média, valores mínimos e máximos, e o desvio padrão foram as mesmas para irritabilidade e perturbação (Tabelas 5.5 e 5.6)

Tabela 5.5 Avaliações do item irritabilidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0,2	0	0
Valor máximo	10	10	9,2
Mediana	7,00	5,80	2,90
Média	6,40	5,66	3,83
Desvio Padrão	3.01	2,54	2,63

Conforme os dados estatísticos apresentados na Tabela 5.6, a perturbação foi avaliada pela maioria das pessoas acima de 7 para o som A, acima de 6 para o som B e abaixo de 4 para o som C.

Tabela 5.6 Avaliações do item perturbação na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1,1	1,2	0
Valor máximo	10	10	9,1
Mediana	7,35	6,35	3,45
Média	6,79	5,84	3,95
Desvio Padrão	2,7	2,49	2,57

As diferenças nas distribuições das avaliações para a irritabilidade e para a perturbação, dadas pelos participantes aos sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.8 a qual mostra que a mediana das avaliações do som A é superior às medianas dos sons B e C, mesmo que a diferença entre as médias dos sons A e B seja pequena.

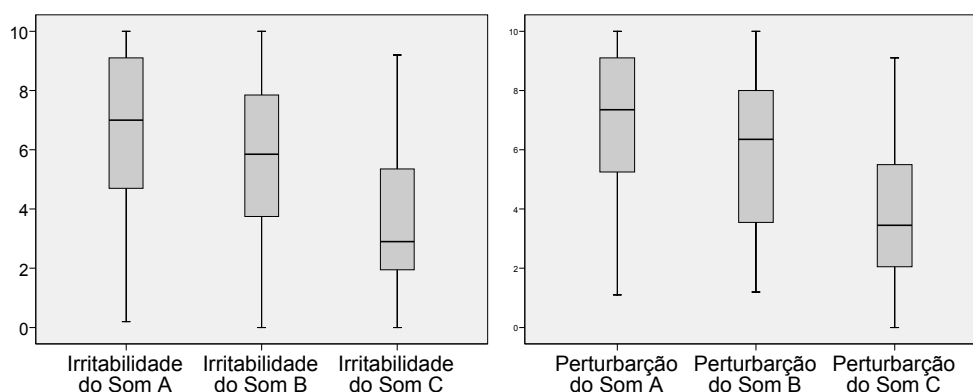


Figura 5.8 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da irritabilidade e perturbação na ER para os sons A, B e C.

Para o item estabilidade, com os resultados apresentados na Tabela 5.7, pode-se observar que o som C apresentou os maiores resultados, quando compararam-se as médias e as medianas, confirmando assim ser percebido como o mais estável quando comparado com os sons A e B. Considerando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons.

Tabela 5.7 Avaliações do item estabilidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0,4	1,2
Valor máximo	9,1	10	10
Mediana	1,70	4,55	7,70
Média	2,52	4,52	7,31
Desvio Padrão	2,36	2,59	2,18

Analisando graficamente (Figura 5.9), observa-se a faixa de concentração de avaliações entre 0 e 6 para o som A,. Todavia, para o som B observa-se comportamento simétrico nos histogramas, onde as avaliações das pessoas não se concentram em um ponto específico do gráfico, demonstrando diferentes percepções sobre a estabilidade do som B. Para o som C, maior concentração de observações entre 7 e 9.

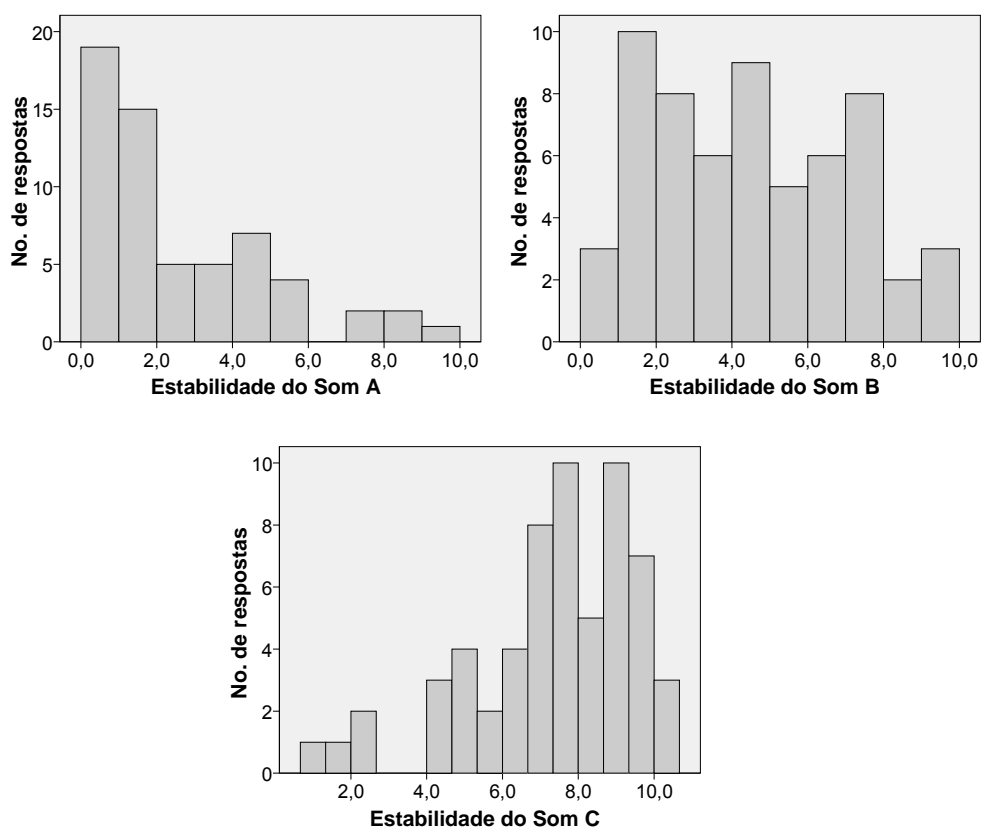


Figura 5.9 Histogramas das avaliações do item estabilidade na ER para o som A, B e C.

As diferenças nas distribuições das avaliações para a estabilidade para os sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.10, que mostra que a metade central das avaliações do som C são superiores às do som B e A, mostrando que o som C é percebido como mais estável quando comparado com os outros dois sons, apesar dos *outliers* (pontos fora da curva).

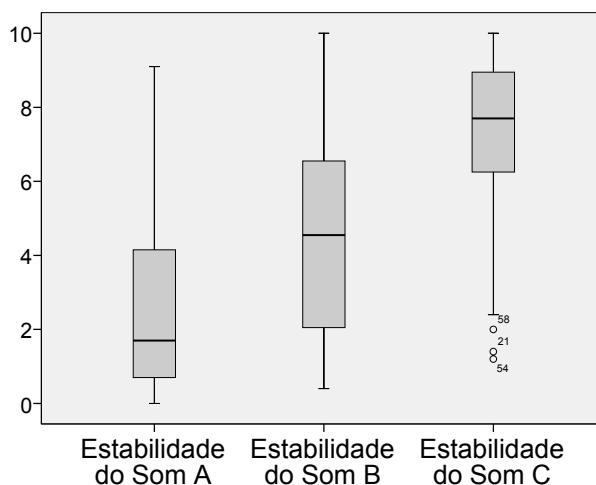


Figura 5.10 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da estabilidade na ER para os sons A, B e C.

Sobre os resultados do item intensidade, apresentados na Tabela 5.8, pode-se observar que os sons A e B apresentaram pequena diferença quando comparadas as médias, sendo que as medianas mantiveram-se as mesmas para ambas as avaliações. Isso mostra que metade das pessoas avaliaram os sons A e B acima de 6. Quanto ao som C, média e mediana foram menores, mostrando que metade das pessoas avaliaram o som C abaixo de 5. Considerando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons.

Tabela 5.8 Avaliações do item intensidade na ER para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0,7	1,1	0
Valor máximo	10	10	9,3
Mediana	6,05	6,05	4,50
Média	5,78	6,15	4,47
Desvio Padrão	2,67	2,18	2,37

Analisando graficamente (Figura 5.11), observa-se simetria nas observações feitas para o som A e B, e leve assimetria para a esquerda, indicando concentração das avaliações nos valores mais baixos da escala, para o som C.

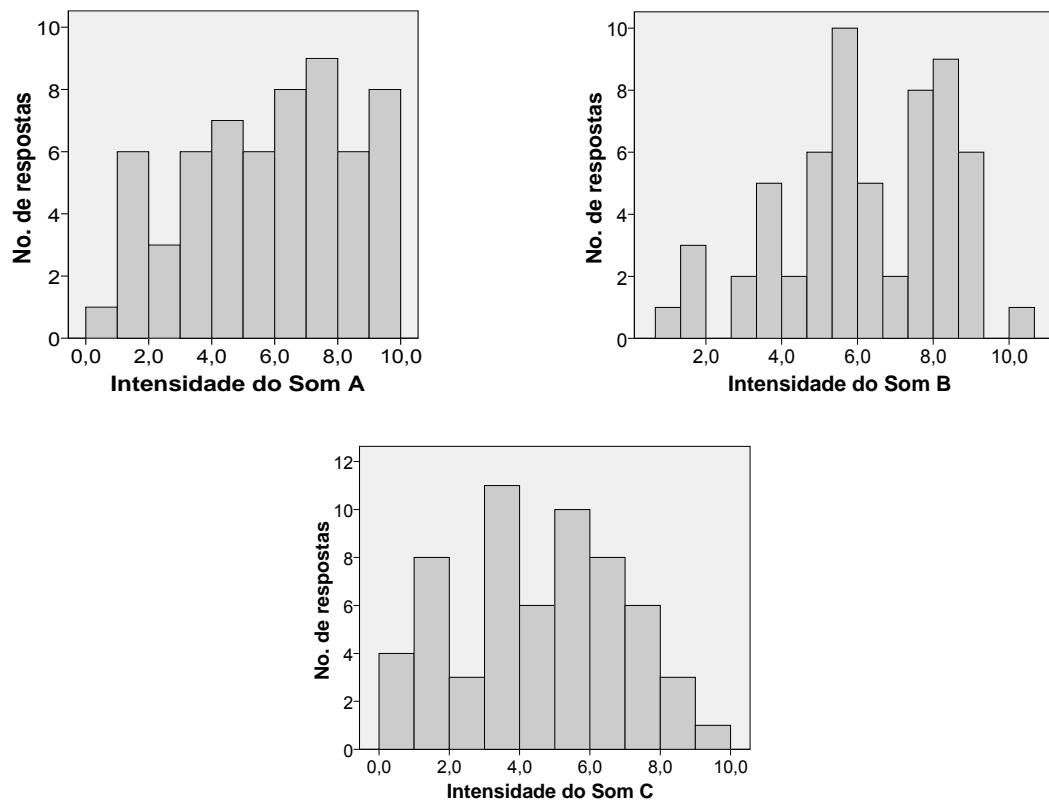


Figura 5.11 Histogramas das avaliações do item intensidade na ER para o som A, B e C

As diferenças nas distribuições das avaliações para a estabilidade para os sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.12, que mostra as medianas dos sons A e B igualmente acima da mediana do som C, caracterizando a menor percepção de intensidade do som C.

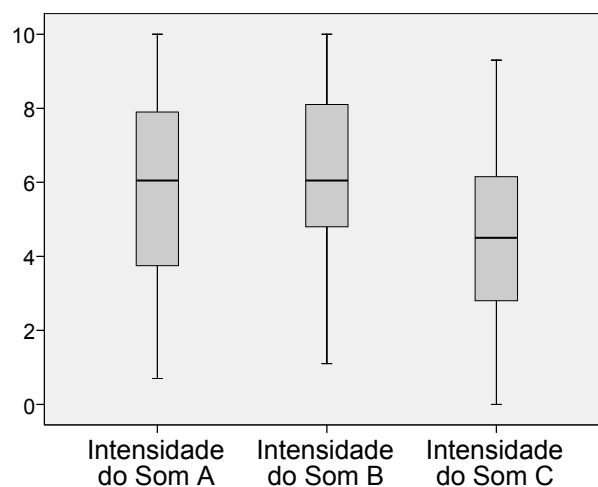


Figura 5.12 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da intensidade na ER para os sons A, B e C.

Considerando que as distribuições das avaliações dos itens (aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade, irritabilidade, perturbação, intensidade e estabilidade) não cumpre com os pré-requisitos necessários (normalidade e simetria) para processar o teste Anova paramétrico, optou-se pelo teste Anova não-paramétrico, para verificar se existem diferenças significativas entre as médias de avaliação dos três sons. Por meio do teste de Kruskal-Wallis observa-se que existem diferenças de avaliação dos sons estatisticamente significativas, para $\alpha = 0,05$.

Uma vez verificado que existem diferenças, para identificar qual das médias dos sons difere da média dos demais, foram processados testes *Post Hocs*. Para identificar as diferenças nas médias entre os pares de sons, utilizou-se o T test e o Duncan, considerando a homogeneidade das variâncias do conforto nos três sons. Ambos apresentaram resultados semelhantes. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Tabela síntese de resultados significativos para o T Test.

itens	≠ média AB	≠ média AC	≠ média BC
aceitabilidade	* p=0,025	**	**
agradabilidade	* p=0,017	**	**
estabilidade	**	**	**
intensidade	***p=0,412	* p=0,003	**
irritabilidade	***p=0,143	**	**
perturbação	*p=0,046	**	**
suportabilidade	*p=0,001	**	**
conforto	*p=0,005	**	**

* significativo para $\alpha = 0,05$

** significativo p=0,000

*** não significativo

Para estudar a relação da avaliação do conforto com a avaliação de cada um dos outros atributos, foi realizada uma análise gráfica por meio dos diagramas de dispersão e calculado o coeficiente de correlação de Pearson (Figura 5.13).

Ao relacionar o atributo conforto com os demais atributos, pode-se observar por meio da Figura 5.13 e confirmar com o coeficiente de correlação que o conforto está relacionado com a aceitabilidade ($r=0,854$), a agradabilidade ($r=0,868$), a suportabilidade ($r=0,828$) e a estabilidade ($r=0,681$), todos em forma positiva. Ou seja, na medida em que aumenta a aceitabilidade, aumenta também a percepção do conforto do som e assim com os demais itens.

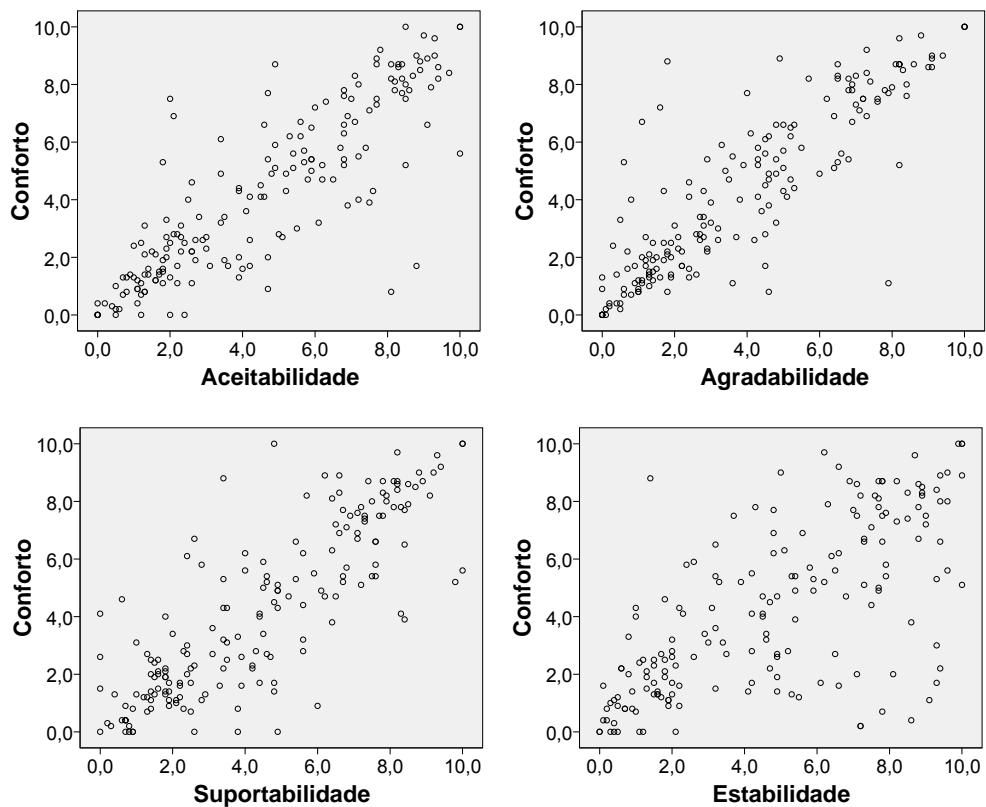


Figura 5.13 Diagrama de dispersão contendo relação das avaliações do atributo conforto na ER com a aceitabilidade, a agradabilidade, a suportabilidade e a estabilidade.

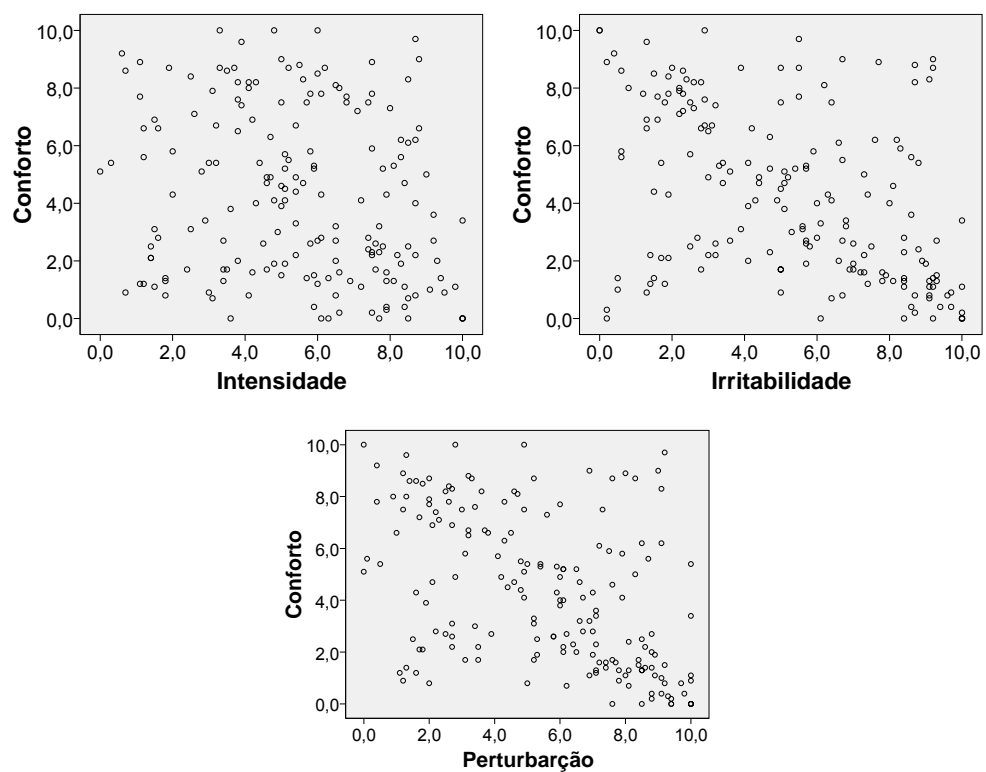


Figura 5.14 Relação das avaliações do atributo conforto na ER com a irritabilidade, a intensidade e a perturbação.

Por outro lado, observa-se que o conforto não está relacionado aos atributos intensidade ($r = -0,211$), irritabilidade ($r = -0,454$) e a perturbação ($r = -0,488$) (Figura 5.14).

Com o objetivo de representar as semelhanças entre as avaliações de cada indivíduo e a relação entre os oito atributos em um espaço de menor dimensão, foi feita a Análise Fatorial. As análises fatoriais procuram sub-espacos de menores dimensões (dois ou três, por exemplo) que ajustam melhor o conjunto de pontos-indivíduos ao conjunto de atributos. As proximidades dos pontos medidos nesses sub-espacos devem refletir tanto quanto possível as proximidades reais. Os eixos desse espaco são chamados de fatores e resultam de combinações lineares de todos os atributos. Os fatores são caracterizados pela combinação dos atributos que refletem a máxima variabilidade e são independentes entre eles (Escofier e Pagès, 1990; Lebart e cols., 1997).

Para este estudo, a tabela analisada era composta de 8 colunas (8 atributos) e 180 linhas (60 participantes X 3 sons). Cada coluna contém as avaliações de um dos atributos do som realizadas por todos os participantes a todos os sons. A avaliação de cada uma das qualidades foi realizada através da seleção de um ponto numa reta (os dados resultantes da avaliação são valores numéricos entre 0 e 10, com decimais). Cada linha contém as oito avaliações que um participante fez a um determinado som.

De acordo com a Figura 5.16, a origem representa a observação média, ou seja, o participante (hipotético) que avaliou o som com a média nos 8 atributos. Cada ponto é uma observação, um participante avaliando um som nos 8 atributos, logo o gráfico apresenta 180 pontos. A distância entre dois pontos representa a diferença entre duas observações. Pontos distantes representam participantes que avaliaram com valores muito diferentes nos 8 atributos do som. Pontos coincidentes representam participantes que avaliaram com valores idênticos nos 8 atributos do som, pontos próximos representam participantes que avaliaram o som com valores semelhantes nos 8 atributos.

O eixo horizontal (que resume os 8 atributos refletindo a máxima variabilidade das avaliações) opõe os participantes com avaliações mais diferentes nos 8 atributos, ou seja, que nos extremos deste eixo horizontal estão os participantes cujas avaliações se diferenciam mais. Neste caso, a primeira componente principal é uma componente importante porque reflete 60,29% da variabilidade total (ver Apêndice 8).

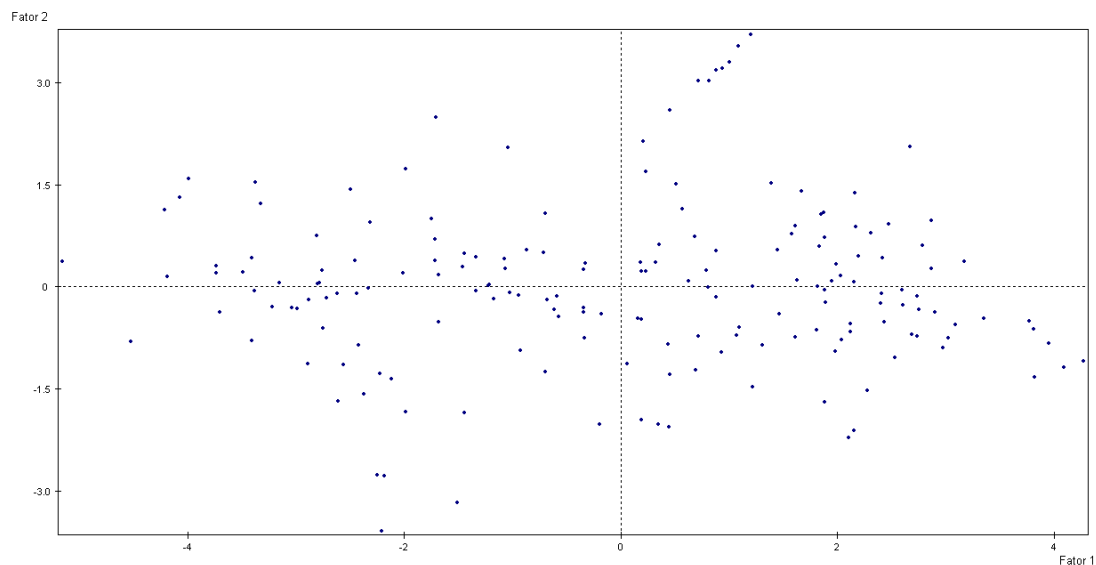


Figura 5.15 Projeção das observações no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.16, pode-se ver que as observações 18 (conjunto de avaliações do som A (1) realizadas pelo participante 8) e 133 (conjunto de avaliações do som A (1) realizadas pelo participante 33) estão bem próximas, as observações 351 e 340 estão mais distantes.

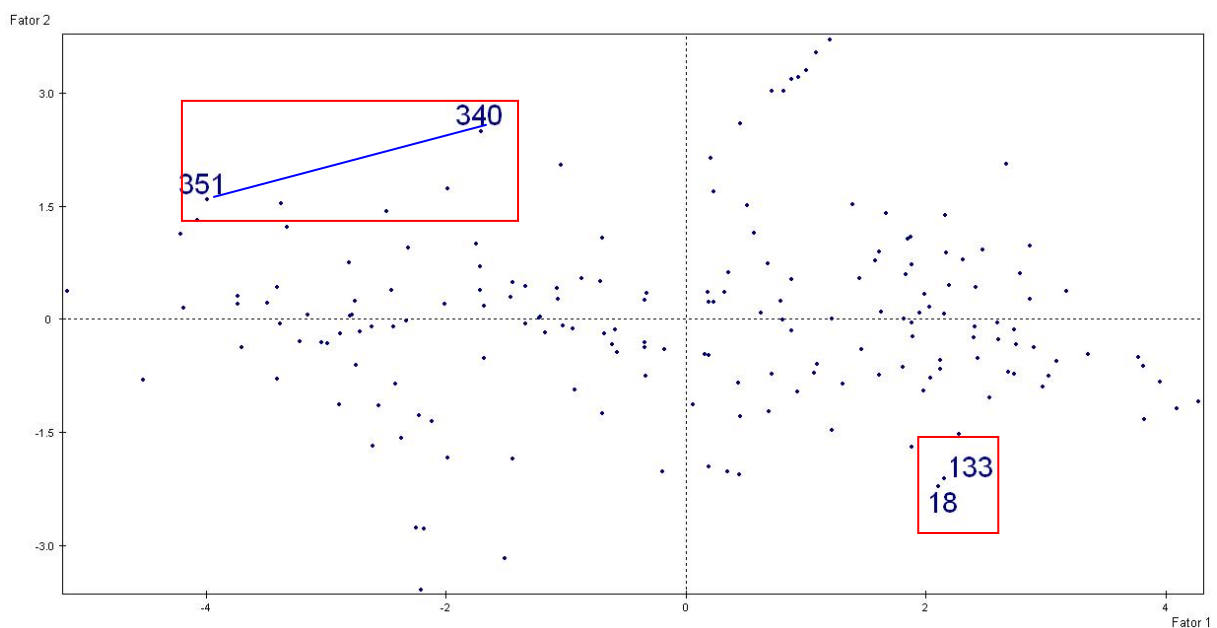


Figura 5.16 Projeção das observações (351 e 340, 133 e 18) no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.18 os pontos A, B, C representam a avaliação média dada por todos os participantes nos 8 atributos aos sons. Os três sons foram avaliados diferentemente nos 8 critérios. O primeiro eixo opõe o som C (a esquerda da origem) dos sons A e B (a direita). Observa-se maior diferença entre as avaliações do som C e A, e maior proximidade no comportamento das avaliações feitas para o som A e B.

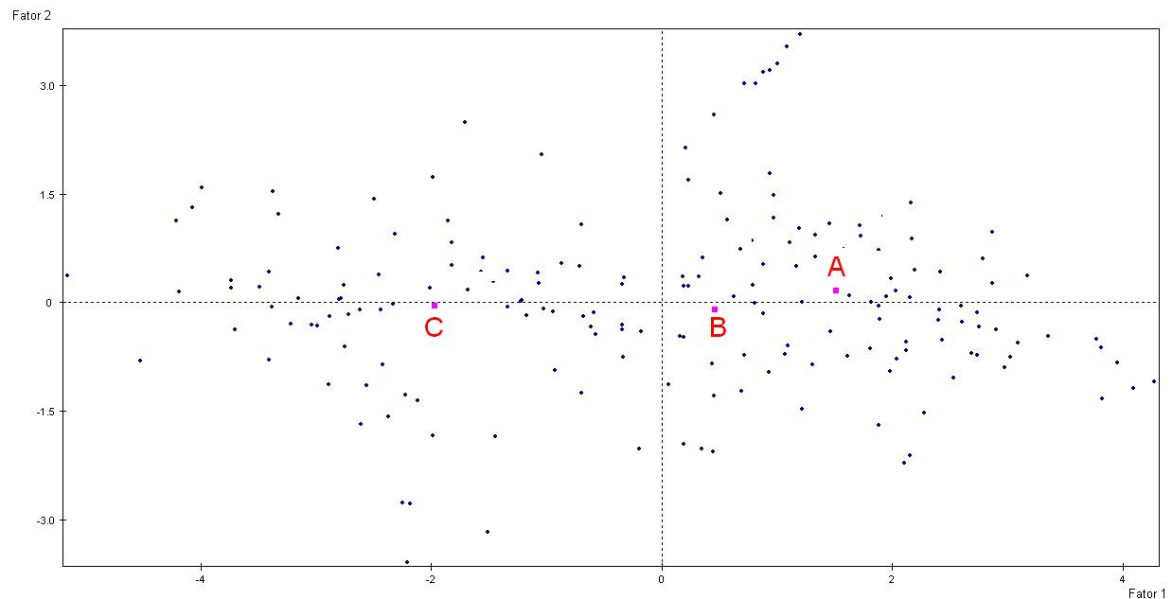


Figura 5.17 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.18, pode-se verificar a projeção da pergunta inicial, sobre a perturbação causada pelo ruído. Pode-se observar que o grupo de pessoas que marcaram a opção que refletia a não perturbação com o ruído do interior de aeronaves e o grupo que marcou como indiferentes demonstraram mesmo comportamento na avaliação dos sons. Ambos estão representados à esquerda da origem do gráfico. Enquanto que o grupo que afirmou positivamente está localizado a direita da origem do gráfico. Apesar dessa oposição, não se pode considerar esta como uma causa de variabilidade das respostas, uma vez que os pontos são próximos.

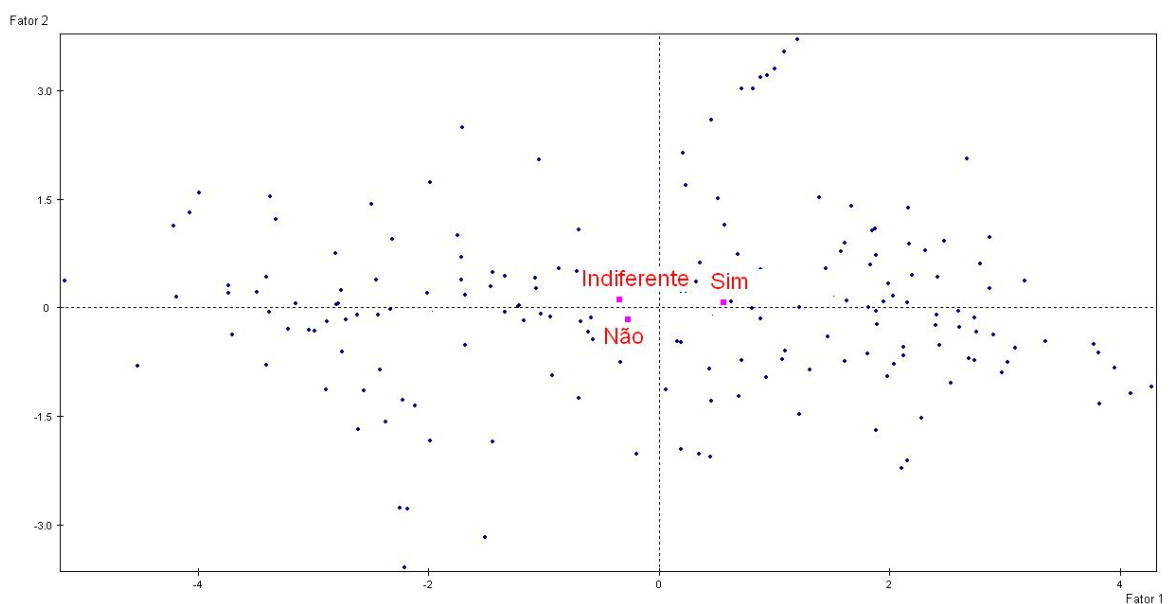


Figura 5.18 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.

Um dos resultados de processar uma Análise em Componentes Principais é a representação gráfica da matriz de correlações (ver Apêndice 9). A Figura 5.19 é chamada de Círculo de Correlação porque é a representação gráfica das correlações de todos os atributos (pares de adjetivos). Ele permite visualizar as correlações dos atributos entre si e dos atributos com os fatores. As avaliações de cada atributo representam-se por vetores (setas). Uma seta representa as avaliações dadas por todos os participantes a todos os sons em um atributo específico. Por exemplo, uma dessas setas representa as avaliações de todos os participantes dadas aos sons A, B e C para o atributo conforto. Dois atributos (setas) que formam um ângulo pequeno têm alta correlação, quer dizer que os valores das avaliações dadas nesses dois atributos são concordantes. Dois atributos que formam um ângulo reto são independentes, quer dizer que os valores das avaliações dadas nesses dois atributos não têm relação.

É possível visualizar dois conjuntos de atributos, altamente correlacionados entre si e quase independentes entre elas.

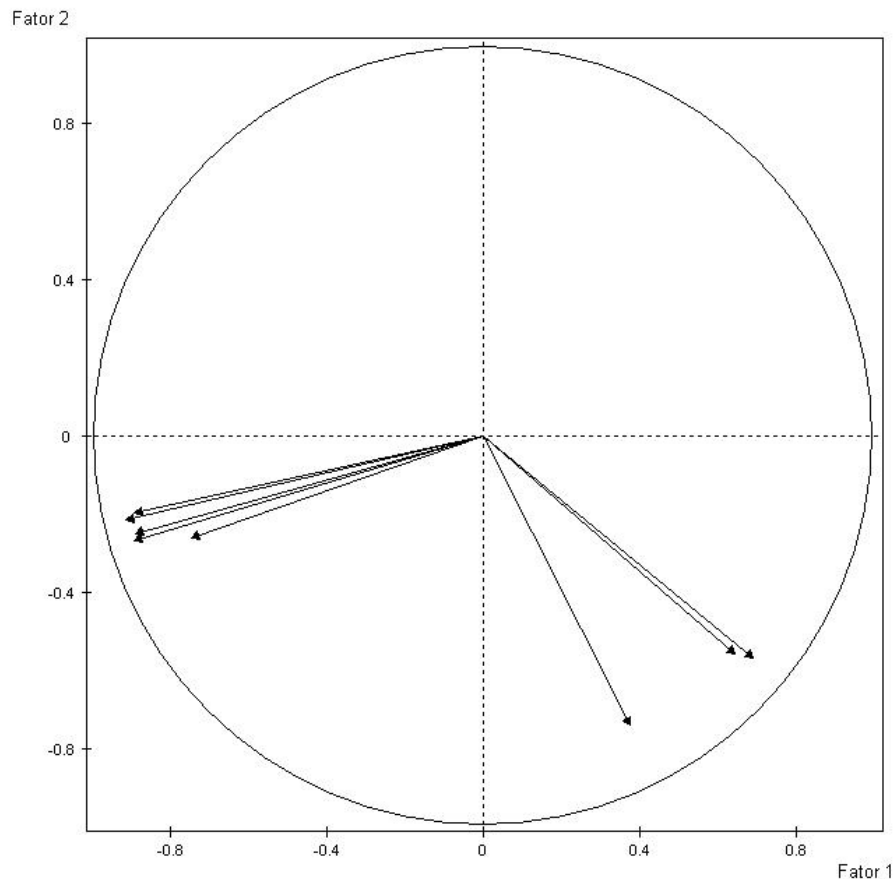


Figura 5.19 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – sem legenda.

Na Figura 5.20 é possível identificar que um dos grupos está constituído pelas avaliações de conforto, suportabilidade, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade, que estão altamente correlacionadas entre si e apontam na mesma direção. Isso quer dizer que as notas desses atributos variam na mesma direção (os participantes que avaliam a suportabilidade com valores altos também avaliam com valores altos o conforto, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade). Com esta figura conclui-se que as avaliações de todos esses atributos são concordantes. Este fato pode ser confirmado nos valores dos coeficientes de correlação, sendo eles todos positivos (ver Apêndice 9). O outro grupo, constituído pelas avaliações de perturbação e irritabilidade, quase coincidem e têm relação interessante (mesmo que menor) com a intensidade.

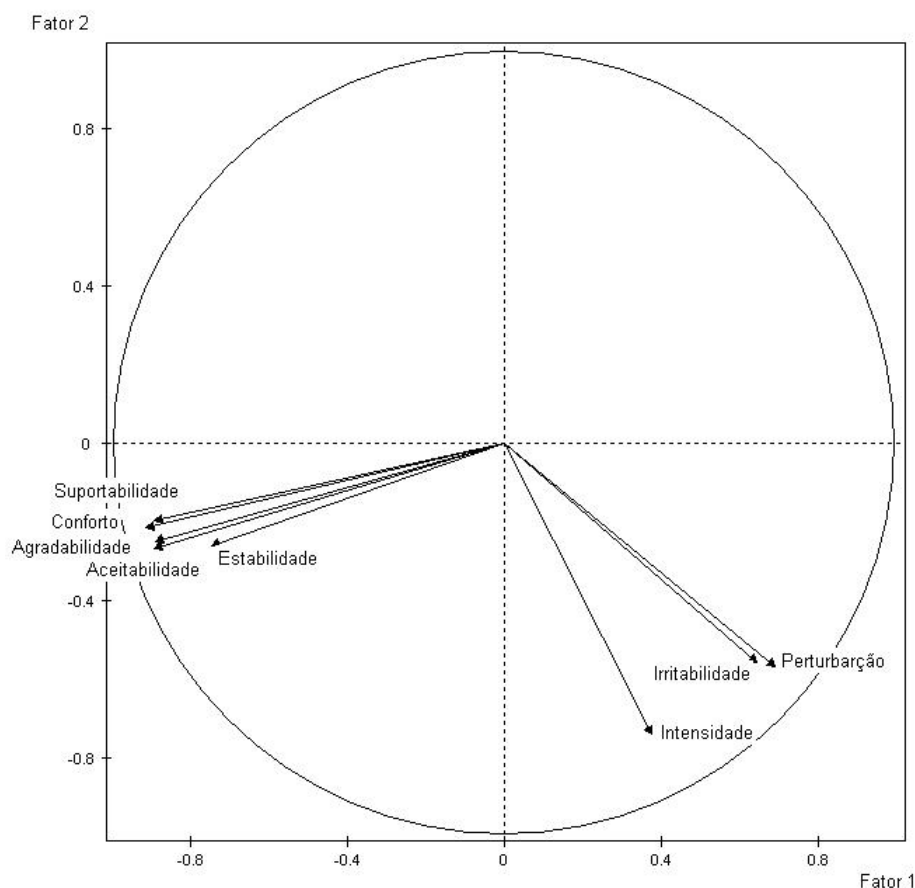


Figura 5.20 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – com legenda.

Nesta mesma figura (Figura 5.20), observa-se que a primeira componente principal está representada no gráfico pelo eixo horizontal. Se um atributo tem alta correlação com o primeiro fator, significa que as avaliações dadas nesse atributo estão bem representadas pelo fator. Se muitos atributos têm correlações altas com esse eixo, indica que ele é uma boa síntese do conjunto de atributos.

Os atributos conforto, suportabilidade, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade têm correlações altas com o primeiro fator, da mesma forma que irritação e perturbação têm correlações altas com o segundo fator, mas não tão importantes quanto os primeiros atributos. O atributo que tem a menor correlação com o primeiro fator é a intensidade. Ou seja, o primeiro fator é uma boa síntese do conjunto das avaliações dos 8 atributos, ainda que não reflita completamente a intensidade.

Os atributos do grupo do conforto têm correlações baixa com o segundo fator, enquanto que a irritabilidade e perturbação têm correlações intermédias com o segundo eixo. O único atributo com correlação importante no segundo fator é a intensidade. Portanto pode-se considerar o primeiro plano fatorial como o resumo completo do conjunto das avaliações em todos os atributos.

5.3.2 Conclusões da Escala de Resposta

Por meio das avaliações realizadas com os atributos, observa-se que, em geral, as pessoas avaliaram diferentemente os sons. Fato constatado pelo teste estatístico Anova aplicado em cada item. Vale ressaltar que este teste estatístico considera os valores médios para fazer as comparações. Também cabe aqui salientar que um dos requisitos utilizados na escolha dos sons foi que eles fossem diferentes, mesmo que este aspecto seja subjetivo. Quando foram avaliados os itens intensidade e irritabilidade por meio da escala de resposta, não foi observada diferença estatística na avaliação entre o som A e B, mostrando que ambos foram percebidos com a mesma intensidade e irritabilidade. Isso caracteriza um dos aspectos positivos deste método, o qual não obriga o avaliador a escolher um dos sons quando os percebe similares. Durante a aplicação dos testes, houve alguns comentários sobre a preferência em utilizar a escala de resposta como método de avaliação, pelo motivo de possibilitar a avaliação de dois ou mais sons com o mesmo valor. Ao verificar a planilha de resposta, observa-se que existiram pessoas que julgaram dois ou mais sons com a mesma nota e, mesmo que esse não seja o comportamento da maioria, este foi um ponto positivo em relação aos demais métodos.

A compreensão do uso da escala foi verificada na análise dos resultados dos itens (atributos) negativos, como a perturbação e a irritabilidade. Quanto maior o valor utilizado na escala, mais perturbador e irritante o som era percebido. Pode-se concluir que a avaliação foi feita corretamente e que as pessoas conseguiram separar bem os atributos.

O fato da configuração da escala permitir a avaliação do som por meio de valores reais, com uma casa decimal configura maior sensibilidade nos dados. Todavia, isso não seria viável se o indivíduo fosse solicitado a atribuir um valor com casa decimal. A natureza desse

tipo de dados é bem abordada quando é utilizada uma reta, com os valores apenas nos extremos, conforme metodologia aplicada para esse método nesse trabalho.

Por fim, conforme os resultados da Análise de Componentes Principais, para avaliar o conforto seria suficiente utilizar apenas o atributo do conforto, escolhido entre os demais.

5.4 Estimativa de Magnitude

Cada som foi avaliado por meio de oito atributos (itens), sendo que para cada atributo, o participante foi solicitado a atribuir um valor real, discreto, entre 0 e 10. Esta atribuição foi feita com auxílio de um indicador numérico.

Os valores atribuídos foram analisados estatisticamente e serão apresentados a seguir. A tabela de dados resultantes desse método está anexada por meio magnético.

5.4.1 Resultados da Estimativa de Magnitude

As avaliações feitas por meio da estimativa de magnitude estão apresentadas a seguir, divididas por item de avaliação.

Para o item do conforto, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.10, pode-se observar que a mediana do som C indica que metade dos participantes avaliou o conforto acima de 7. Resultado que contrasta com as medianas do som A e B, para os quais são 3 e 4 respectivamente. Analisando a média, observa-se que esta segue uma tendência crescente do som A, B e C. Ressalta-se o alto valor da média do som C, confirmando assim ser percebido como muito mais confortável. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações do conforto medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons.

Tabela 5.10 Avaliações do item conforto para os sons A, B e C na EM.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	8	10	10
Mediana	3	4	7
Média	3,15	4,45	6,37
Desvio Padrão	1,91	2,19	2,17

Analisando graficamente (Figura 5.21), é possível observar que as avaliações do conforto do som A, B e C se distribuem diferentemente. As avaliações para o conforto do

som A estão concentradas nos valores inferiores da escala, o que indica que a maior parte dos participantes considera pouco confortável o som A. Já para o som B, as avaliações estão distribuídas de forma mais uniforme em todos os valores da escala, com uma concentração mais leve nos valores intermédios. Para o som C, os participantes concentraram suas avaliações nos valores superiores da escala.

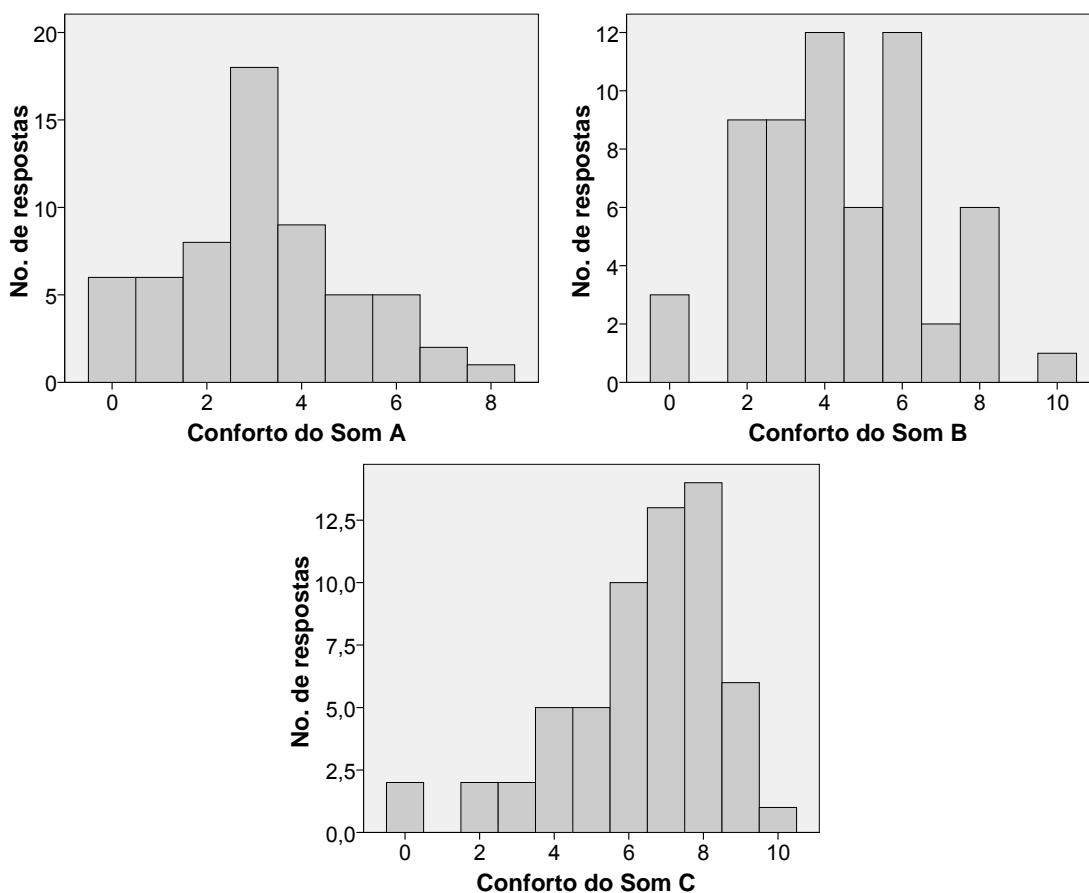


Figura 5.21 Histogramas das avaliações do item conforto na EM para o som A, B e C.

As diferenças na distribuição das avaliações do conforto dadas pelos participantes aos sons A, B e C podem ser melhores visualizadas por meio da Figura 5.22, na qual se percebe que a mediana das avaliações do som C é superior às dos sons A e B. Conclui-se que a percepção de conforto do som C foi mais evidenciada pela maioria dos participantes.

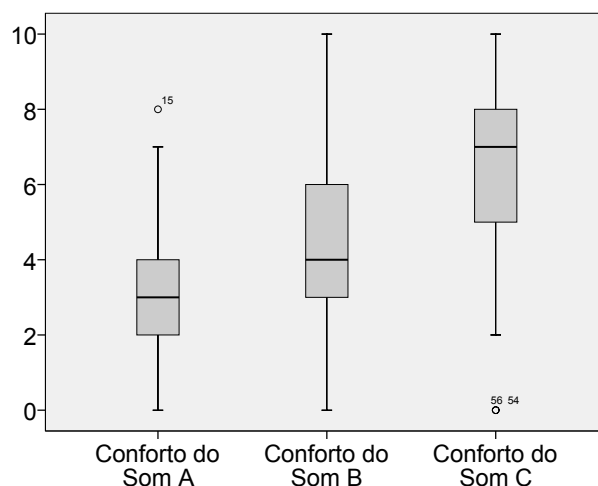


Figura 5.22 Diagrama de caixa das avaliações do item conforto na EM para os sons A, B e C.

Considerando que a distribuição das avaliações do conforto não cumpre com os pré-requisitos necessários (normalidade e simetria) para processar o teste Anova paramétrico, optou-se pelo teste Anova não-paramétrico, para verificar se existem diferenças significativas entre as médias de avaliação dos 3 sons. Por meio do teste de Kruskal-Wallis, observa-se que existem diferenças de avaliação dos sons estatisticamente significativas, para $\alpha = 0,05$.

Uma vez verificado que existem diferenças, para identificar qual das médias dos sons difere da média dos demais, foram processados testes *Post Hocs*. Para identificar as diferenças nas médias entre os pares de sons, utilizou-se o T test e o Duncan, considerando a homogeneidade das variâncias do conforto nos três sons. Ambos apresentaram resultados semelhantes. Ao comparar a diferença das médias do conforto entre som A e som B, esta se resulta significativa (-1,300; $p=0,001$); o mesmo para som A e som C (-3,217; $p= 0,000$) e som B e C (-1,917; $p=0,000$). Confirmando o observado anteriormente com a ER.

Os itens aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade, estabilidade, irritabilidade e perturbação apresentaram observações semelhantes às do conforto e, por esse motivo serão apresentados em conjunto.

Para o item aceitabilidade, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.11, podemos observar que a mediana do o som C indica que metade dos participantes atribui o valor acima de 7 para avaliar o conforto . Resultado que contrasta com as medianas dos sons A e B, para os quais metade das observações apresentam valores acima de 3 e 5 respectivamente.

Analisando a média, observa-se que esta segue uma tendência crescente do som A, B e C, ressaltando o alto valor da média para o som C. Considerando os valores mínimos e

máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons. Essas constatações, acerca da média, valores mínimos e máximos, e o desvio padrão foram as mesmas para aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade (Tabelas 5.11 a 5.14)

Tabela 5.11 Avaliações do item aceitabilidade na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	2
Valor máximo	9	10	10
Mediana	3	5	7
Média	3,60	4,75	6,97
Desvio Padrão	2,15	2,27	1,83

Quanto à agradabilidade, em que as estatísticas apresentam-se na Tabela 5.12, metade das observações para o som C foi acima 7, enquanto que metade das observações para o som A e B foram acima de 3 e 4 respectivamente.

Tabela 5.12 Avaliações do item agradabilidade na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	9	10	10
Mediana	3	4	7
Média	3,05	4,17	6,23
Desvio Padrão	1,91	2,06	2,16

Conforme as estatísticas apresentadas na Tabela 5.13, para o item suportabilidade, observa-se que metade das observações foram maiores que 4; 5 e 7,5 para A, B e C respectivamente.

Tabela 5.13 Avaliações do item suportabilidade na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	0	1
Valor máximo	8	10	10
Mediana	4	5	7,5
Média	3,6	4,97	7,17
Desvio Padrão	1,89	2,20	1,83

Analizando a estabilidade, por meio das estatísticas apresentadas na Tabela 5.14, ressalta-se o alto valor atribuído ao som C por metade dos participantes. Diferentemente dos valores atribuídos pela metade dos participantes para o som A e B que foram menores que 4 e 6 respectivamente.

Tabela 5.14 Avaliações do item estabilidade na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	0	2	2
Valor máximo	9	9	10
Mediana	3	5,50	8
Média	3,73	5,52	1,91
Desvio Padrão	2,36	2,59	2,18

Assim como para o conforto, as diferenças na distribuição das avaliações para a aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade e estabilidade, dadas pelos participantes aos sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.23, a qual mostra que a metade central das avaliações do som C são superiores às dos sons A e B.

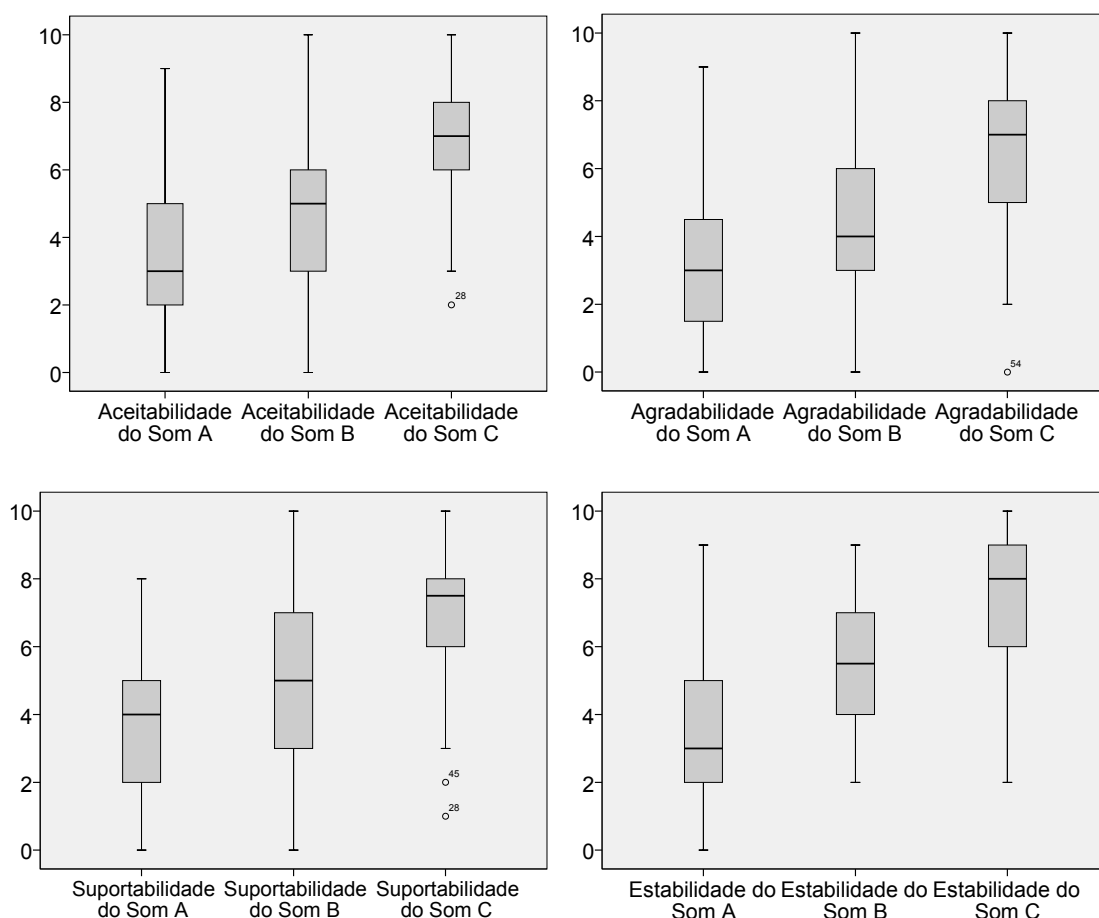


Figura 5.23 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da aceitabilidade, agradabilidade e suportabilidade na EM para os sons A, B e C.

Para a irritabilidade e a perturbação, as conclusões são próximas daquelas associadas ao conforto. Todavia, por se tratar de polaridade invertida, encontram-se os maiores resultados para o som A. De acordo com as estatísticas apresentadas na Tabela 5.15, a mediana informa que metade das observações foi acima de 8. Para o som B e C, metade das observações foi feita acima dos os valores 6 e 4 respectivamente.

Quanto à média, observa-se que esta segue uma tendência decrescente do som A ao C, ressaltando o maior valor da média para o som A. Considerando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. A variabilidade das avaliações medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os três sons. Essas constatações, acerca da média, valores mínimos e máximos, e o desvio padrão foram as mesmas para irritabilidade e perturbação (Tabelas 5.15 e 5.16)

Tabela 5.15 Avaliações do item irritabilidade na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	2	0
Valor máximo	10	10	10
Mediana	8	6	4
Média	6,95	5,90	4,12
Desvio Padrão	2,20	2,28	2,12

Para os dados estatísticos apresentados na Tabela 5.16, ressalta-se o alto valor atribuído pela metade das pessoas quando avaliavam a perturbação do som A. Para os sons B e C, a perturbação foi avaliada com 6 para o som B e 4 para o som C.

Tabela 5.16 Avaliações do item perturbação na EM para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	2	0
Valor máximo	10	10	9
Mediana	8	6	4
Média	6,88	5,87	4,32
Desvio Padrão	2,39	2,02	2,10

As diferenças na distribuição das avaliações para a irritabilidade e para a perturbação, dadas pelos participantes aos sons A, B e C, podem ser melhores visualizadas por meio da

Figura 5.24, na qual se observa que a metade central das avaliações do som A são superiores às dos sons B e C.

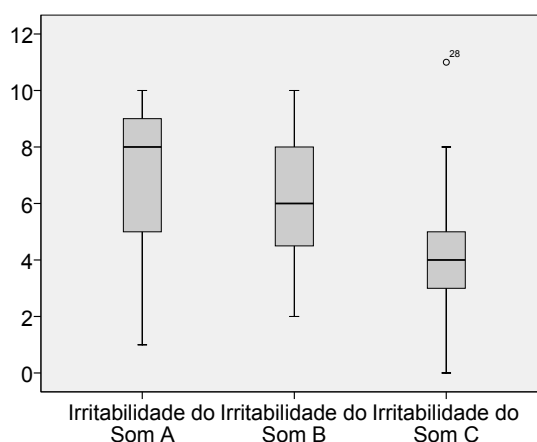


Figura 5.24 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da irritabilidade e perturbação na EM para os sons A, B e C.

Sobre os resultados do item intensidade, apresentados na Tabela 5.19, pode-se observar que os sons A, B e C mostraram pequena diferença quando comparadas as médias, sendo que as medianas mantiveram-se as mesmas para A e B. Isso mostra que metade das pessoas avaliaram os sons A e B com o valor acima ou abaixo de 6. Quanto ao som C, a mediana foi menor, mostrando que metade das pessoas avaliou o som C com valores médios. Considerando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons.

Tabela 5.17 Avaliações do item intensidade na EM para os sons A, B e C.

	Som A	Som B	som C
Valor mínimo	1	2	1
Valor máximo	10	10	9
Mediana	7	7	5
Média	6,35	6,52	5,07
Desvio Padrão	2,09	1,79	1,85

Analisando graficamente (Figura 5.25), observa-se simetria nas observações feitas para o som A e B, e leve assimetria para a esquerda, indicando concentração das avaliações nos valores mais altos da escala, para o som C.

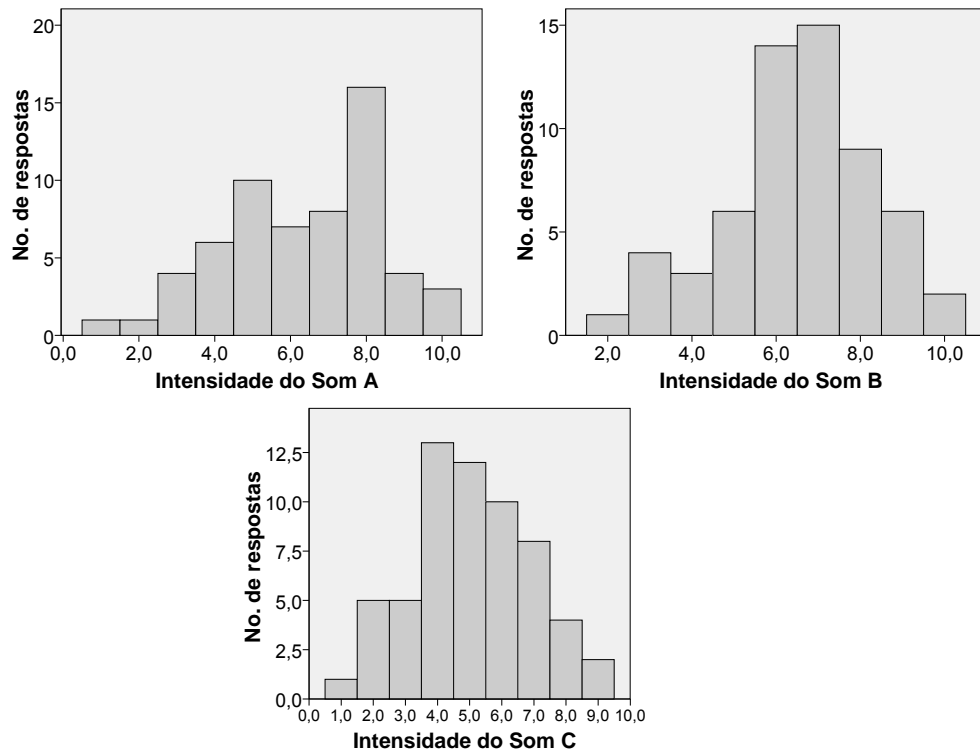


Figura 5.25 Histogramas das avaliações do item intensidade na ER para o som A, B e C.

As diferenças nas distribuições das avaliações para a estabilidade para os sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.26, na qual se percebe que as medianas dos sons A e B estão igualmente acima da mediana do som C, caracterizando a menor percepção de intensidade do som C.

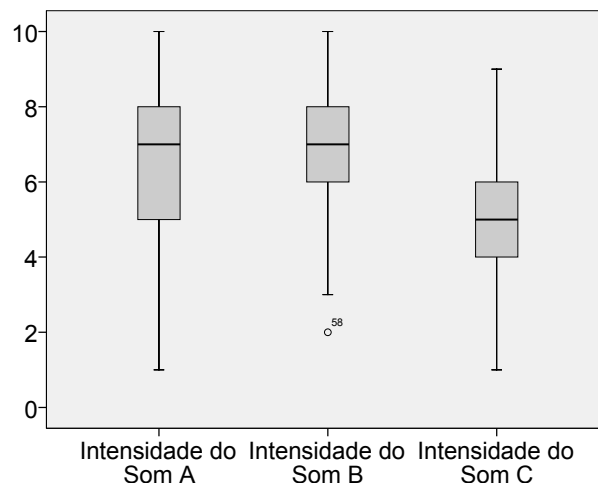


Figura 5.26 Diagrama de caixa comparativo dos resultados da intensidade na ER para os sons A, B e C.

As distribuições das avaliações dos itens (aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade, estabilidade, irritabilidade, perturbação e intensidade) assim como para o conforto, não cumprem com os pré-requisitos necessários (normalidade e simetria) para

processar o teste Anova paramétrico, optou-se pelo teste Anova não-paramétrico, para verificar se existem diferenças significativas entre as médias de avaliação dos 3 sons. Por meio do teste de Kruskal-Wallis, observa-se que existem diferenças de avaliação dos sons estatisticamente significativas, para $\alpha = 0,05$.

Uma vez verificado que existem diferenças, para identificar qual das médias dos sons difere da média dos demais, foram processados testes Post Hocs. Para identificar as diferenças nas médias obtidas pelo método EM entre os pares de sons, utilizou-se o T test e o Duncan, considerando a homogeneidade das variâncias do conforto nos três sons. Ambos apresentaram resultados semelhantes. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 Tabela síntese de resultados significativos para o T Test.

itens	≠ média AB	≠ média AC	≠ média BC
aceitabilidade	* $p=0,003$	**	**
agradabilidade	* $p=0,003$	**	**
estabilidade	**	**	**
intensidade	*** $p=0,636$	**	**
irritabilidade	* $p=0,010$	**	**
perturbação	* $p=0,011$	**	**
suportabilidade	**	**	**
conforto	* $p=0,001$	**	**

* significativo para $\alpha = 0,05$

** significativo $p=0,000$ com $\alpha = 0,05$

*** não significativo

Para estudar a relação da avaliação do conforto, com a avaliação de cada um dos outros atributos, foi realizada uma análise gráfica por meio dos diagramas de dispersão e calculado o coeficiente de correlação de Pearson.

Ao relacionar o atributo conforto, com os demais atributos, pode-se observar por meio da Figura 5.27 e confirmar com o coeficiente de correlação que o conforto está relacionado com a aceitabilidade ($r=0,808$), a agradabilidade ($r=0,776$), a suportabilidade ($r=0,711$) e a estabilidade ($r=0,672$), todos em forma positiva. Ou seja, na medida em que aumenta a aceitabilidade, aumenta também a percepção do conforto do som e assim com os demais itens. Importante ressaltar que, tratando-se de valores discretos, existe a possibilidade de pontos estarem superpostos.

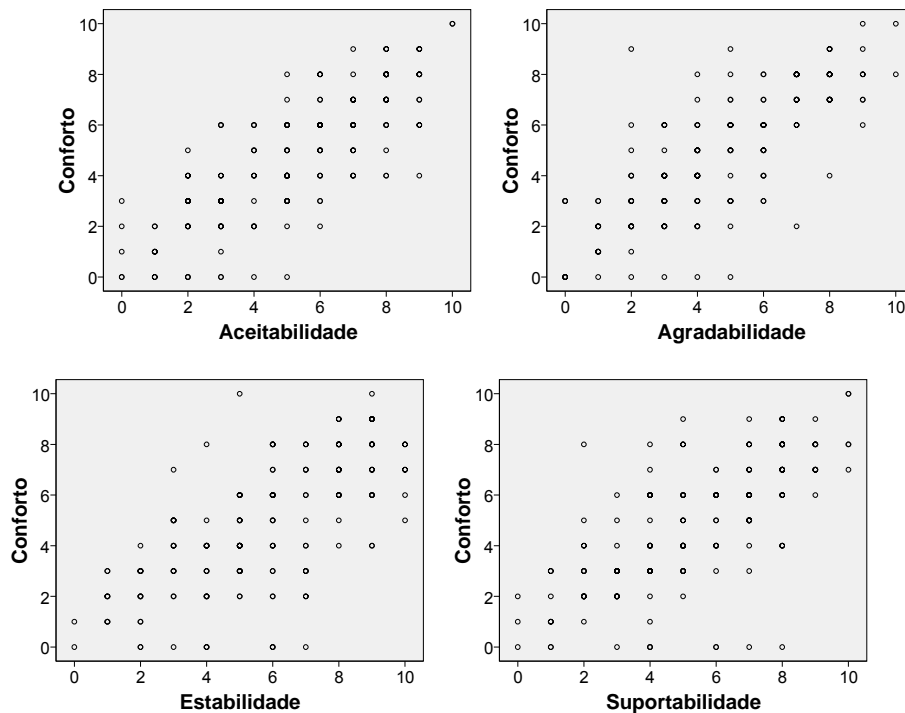


Figura 5.27 Relação das avaliações do atributo conforto na EM com a aceitabilidade, a agradabilidade, a estabilidade e a suportabilidade.

Por outro lado, observa-se, por meio da Figura 5.28, que o conforto não está relacionado aos atributos intensidade ($r = -0,183$), irritabilidade ($r = -0,467$) e a perturbação ($r = -0,448$).

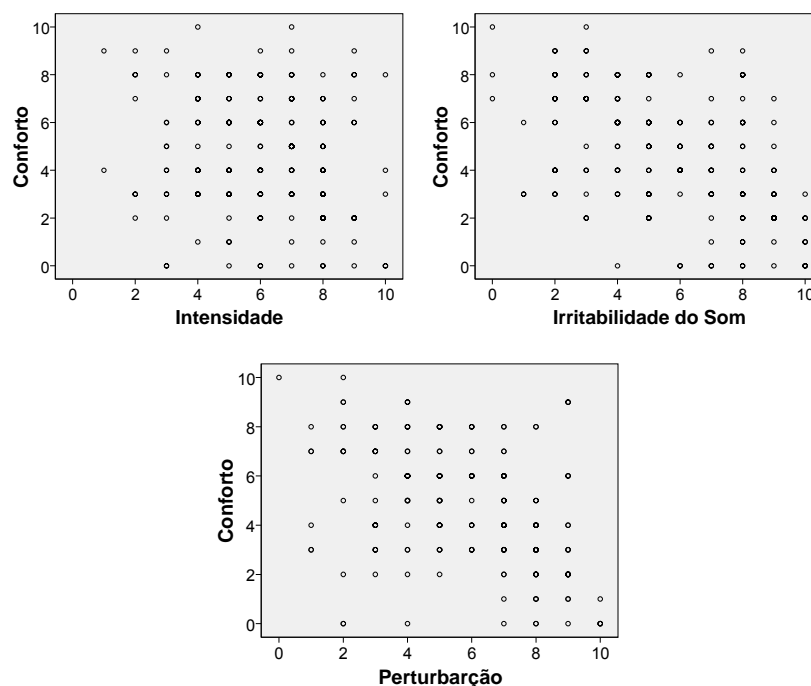


Figura 5.28 Relação das avaliações do atributo conforto na EM com a irritabilidade, a intensidade e a perturbação.

Com o objetivo de representar as semelhanças entre as avaliações de cada indivíduo e a relação entre os oito atributos em um espaço de menor dimensão, foi feita a Análise Fatorial, como já contextualizada para o método ER.

De acordo com a Figura 5.29, a origem representa a observação média, ou seja, o participante que avaliou o som com a média nos 8 atributos. Cada ponto é uma observação, um participante avaliando um som nos 8 atributos, logo o gráfico apresenta 180 pontos.

O eixo horizontal (que resume os 8 atributos refletindo a máxima variabilidade das avaliações) opõe os participantes com avaliações mais diferentes nos 8 atributos, ou seja, nos extremos deste eixo estão os participantes cujas avaliações se diferenciam mais, uma vez que a primeira componente principal reflete 59,67% da variabilidade total, ou seja caracteriza a importância do primeiro eixo (Apêndice 10).

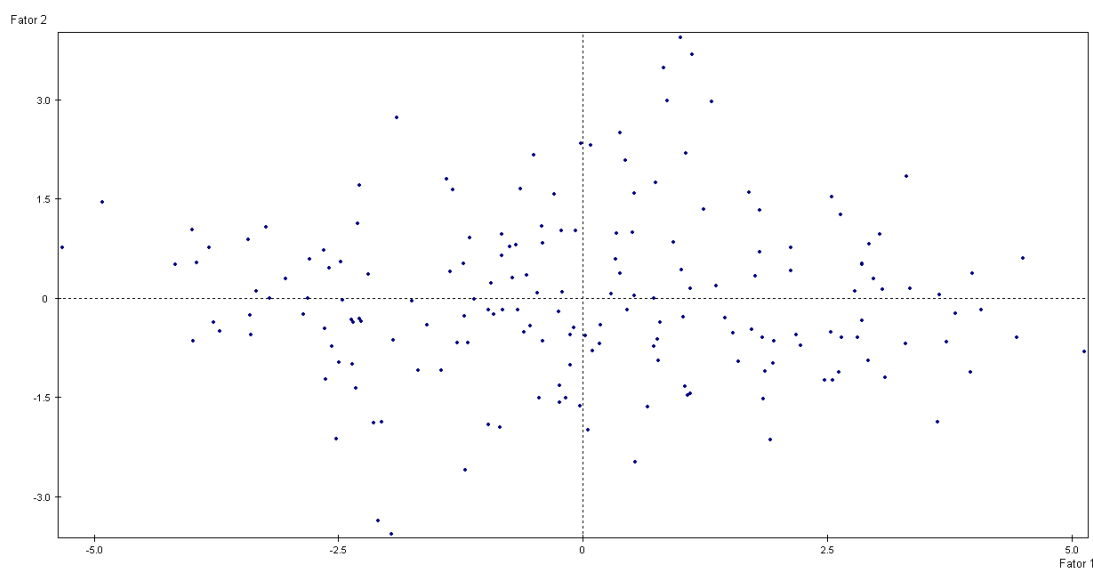


Figura 5.29 Projeção das observações no primeiro plano fatorial

Na Figura 5.30 os pontos A, B, C representam a avaliação média dada por todos os participantes nos 8 atributos aos sons. Os três sons foram avaliados diferentemente nos 8 critérios. O primeiro eixo opõe o som C (a esquerda da origem) dos sons A e B (a direita). Observa-se maior diferença entre as avaliações dos sons C e A, e maior proximidade no comportamento das avaliações feitas para os sons A e B.

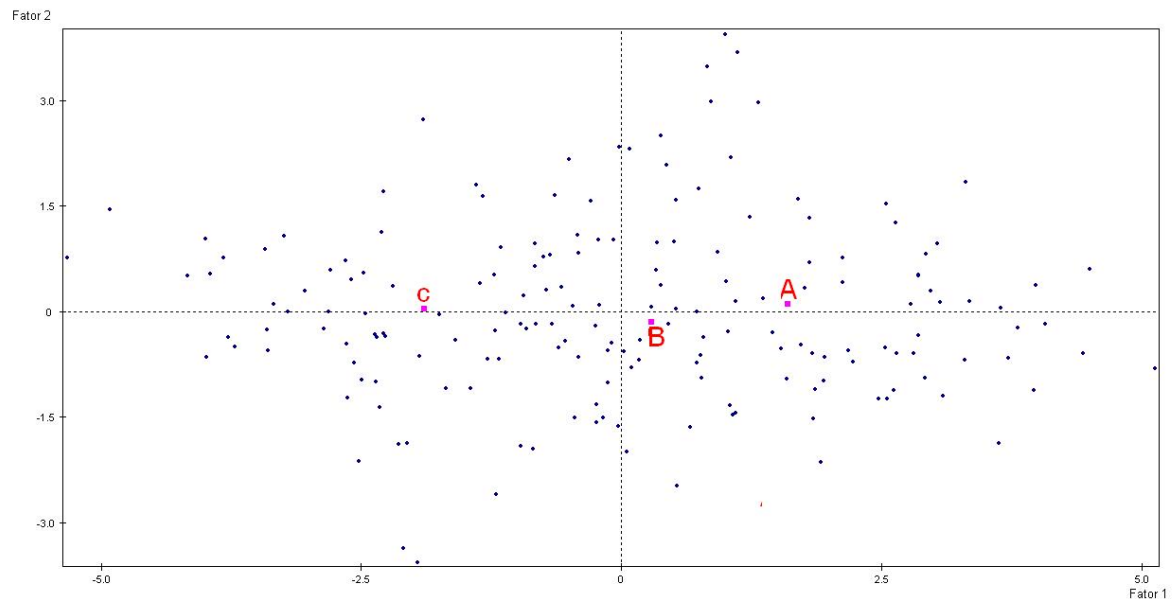


Figura 5.30 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.31 podemos verificar a projeção da pergunta inicial, sobre a perturbação causada pelo ruído. Pode-se observar que as médias dos grupos que marcaram as três opções (sim, não e indiferente) não podem ser consideradas como uma causa de variabilidade das respostas, uma vez que se encontram muito próximas uma das outras.

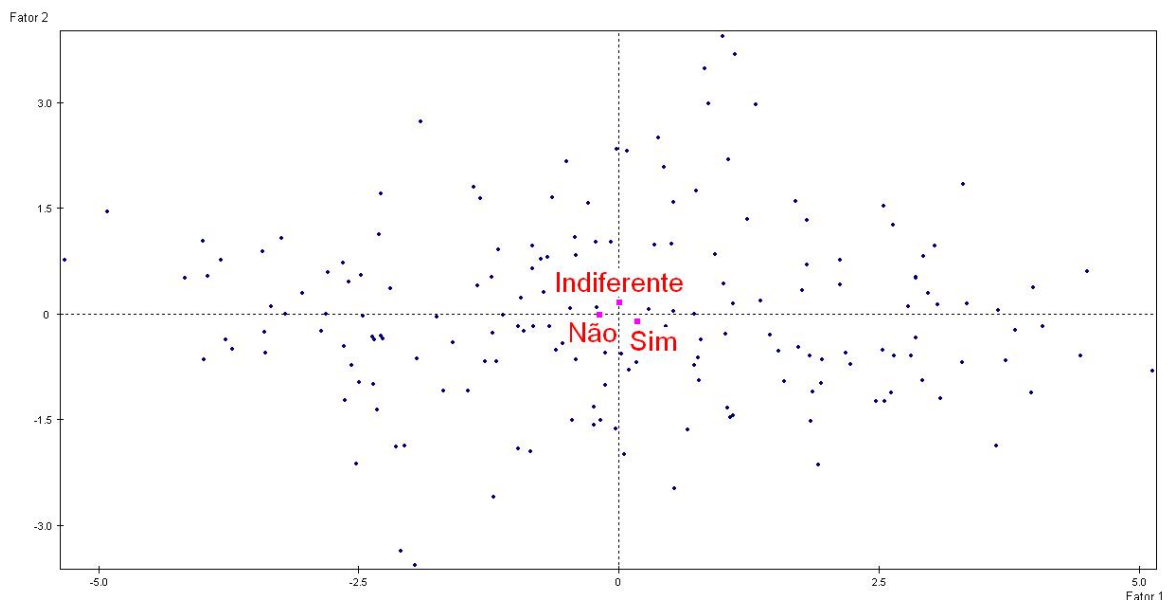


Figura 5.31 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.

É possível visualizar dois conjuntos de variáveis, altamente correlacionadas entre si, dentro de cada grupo e quase independentes entre grupos.

Na Figura 5.32 é possível identificar que um dos grupos está constituído pelas avaliações de conforto, suportabilidade, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade, que estão altamente correlacionadas entre si e apontam na mesma direção. Isso quer dizer que as notas desses atributos variam na mesma direção (os participantes que avaliam a suportabilidade com valores altos, também avaliam com valores altos o conforto, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade). Com essa figura conclui-se que as avaliações de todos esses atributos são concordantes. Este fato pode ser confirmado nos valores dos coeficientes de correlação, sendo eles todos positivos (Apêndice 10). O outro grupo, constituído pelas avaliações de perturbação e irritabilidade quase coincidem e têm relação interessante (mesmo que menor) com a intensidade.

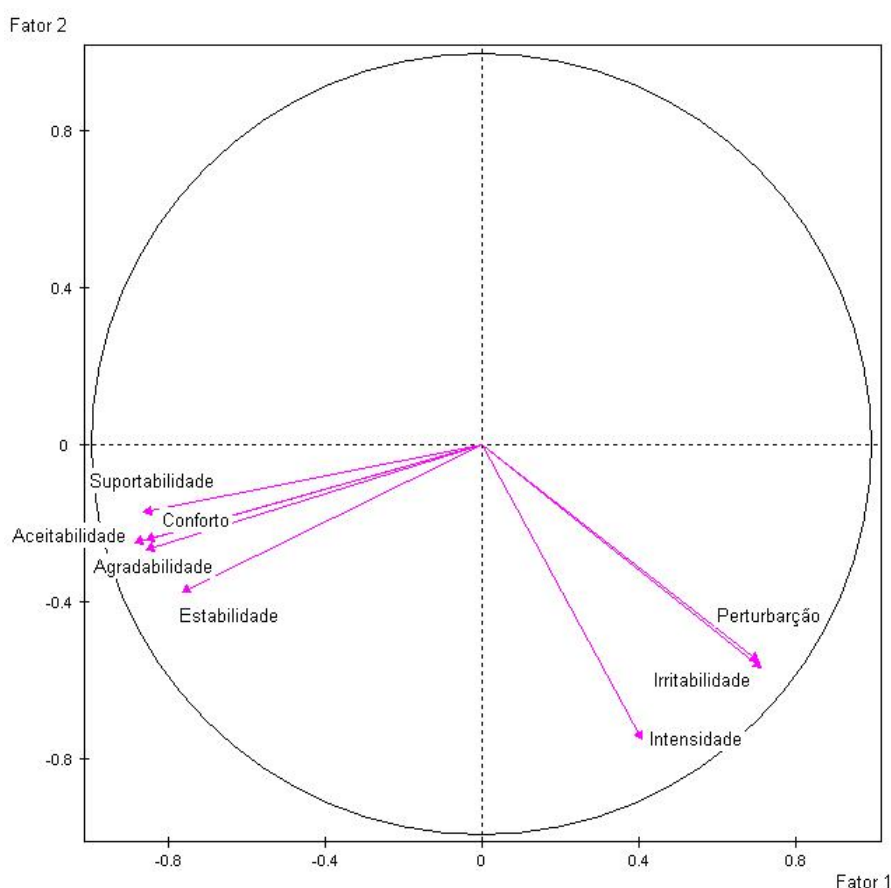


Figura 5.32 Círculo de correlação: projeção das avaliações dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial

Na Figura 5.32 observa-se que a primeira componente principal está representada no gráfico pelo eixo horizontal. Os atributos conforto, suportabilidade, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade têm correlações altas com o primeiro fator, da mesma forma que irritação e perturbação têm correlações altas com o primeiro fator, mas não tão importantes quanto os primeiros atributos (Apêndice 11). O atributo que tem a menor correlação com o primeiro fator é a intensidade. Ou seja, o primeiro fator é uma boa síntese

do conjunto das avaliações dos 8 atributos, ainda que não reflita completamente a intensidade.

Os atributos do grupo do conforto têm pouca correlação com o segundo fator, enquanto que a irritabilidade e perturbação têm correlações intermédias com o segundo eixo. O único atributo com correlação importante no segundo fator é a intensidade. Portanto, pode-se considerar o primeiro plano fatorial como o resumo completo do conjunto das avaliações em todos os atributos, resultado esse que já foi observado com o método da ER.

5.4.2 Conclusões da Estimativa de Magnitude (EM)

As conclusões para a EM, no que se refere à avaliação dos sons pelos participantes se assemelha com as encontradas na ER. Principalmente no que se refere a não obrigar o avaliador a escolher um dos sons quando os percebe similares, a compreensão do uso da escala, a utilização apenas do atributo conforto, escolhido entre os demais, para a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves e o benefício da natureza dos dados ser numérica.

A utilização de dados discretos na EM possibilita a avaliação exata dos sons pelos participantes, enquanto que na ER o participante não sabe o valor exato quando está marcando na escala. Por ser um método com dados numéricos, possibilita a correlação e análise direta com os dados objetivos sem influenciar a coerência metodológica.

Para a avaliação por meio da EM não é indicado solicitar ao participante que atribua valores que não sejam inteiros (com casas decimais) para a avaliação do som com a configuração aqui utilizada (indicador numérico). A avaliação com valores incluindo casas decimais só é possível quando não está visível para o sujeito a escala de valores, conforme foi utilizado no método da ER (Guski, 1977).

5.5 Diferencial Semântico (DS)

Na avaliação com o diferencial semântico, os participantes foram solicitados a avaliar com os oito pares de adjetivos escolhidos conforme apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4.

Para o DS, a avaliação dos sons foi feita separadamente. A apresentação do som era contínua, e em cada tela o participante foi solicitado a marcar um ponto em uma escala de sete pontos conforme a percepção do som. Para o item confortável/desconfortável, foi solicitado que, se percebesse o som confortável, marcasse mais próximo da palavra confortável, se percebesse o som desconfortável, marcasse mais próximo da palavra desconfortável. E, no caso de não perceber nem confortável nem desconfortável, marcasse no meio da escala.

Para a análise dos resultados, cada ponto da escala foi associado com um número. Para o item confortável/desconfortável, 1 significa que a pessoa marcou no espaço mais próximo do descritor confortável e 7 mais próximo do descritor desconfortável. A numeração serve apenas para correspondência com o local de marcação, não considerando equidistância entre os pontos da escala.

Os resultados serão apresentados inicialmente por atributo, para uma melhor compreensão.

5.5.1 Resultados do DS

Para o item confortável/desconfortável, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.19, pode-se observar, por meio dos valores mínimos e máximos, que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para avaliar os sons. Isso foi observado em todos os itens. As medianas mostram que metade das pessoas avaliou o som A com maior proximidade para o adjetivo desconfortável. O mesmo aconteceu com o som B, ainda que a mediana aponte que metade das pessoas avaliou o som um ponto a menos na escala do que o som A. Isto mostra que as pessoas perceberam o som A como mais desconfortável que o som B. Esse resultado é confirmado quando analisamos o primeiro e o terceiro quartil. Por outro lado, a avaliação do som C, em que a mediana aponta que metade das observações está mais próxima do adjetivo confortável, mostrando que a percepção do som C é mais confortável. O primeiro quartil confirma essa afirmação.

Tabela 5.19 Avaliações do item confortável/desconfortável no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	2	2	1
Valor máximo	7	7	7
Mediana	6	5	3
25%	5	4	2
75%	6	6	5

Por meio dos gráficos de barra, apresentados na Figura 5.33, consegue-se visualizar que as avaliações do conforto do som A, B e C se distribuem diferentemente. As avaliações para o som A estão concentradas nos valores mais elevados, mais próximos do desconfortável. Para o som B, as avaliações estão distribuídas de forma mais uniforme em todos os valores da escala, com uma concentração mais leve nos valores intermédios. Para o som C, os participantes concentraram suas avaliações mais próximas do adjetivo confortável.

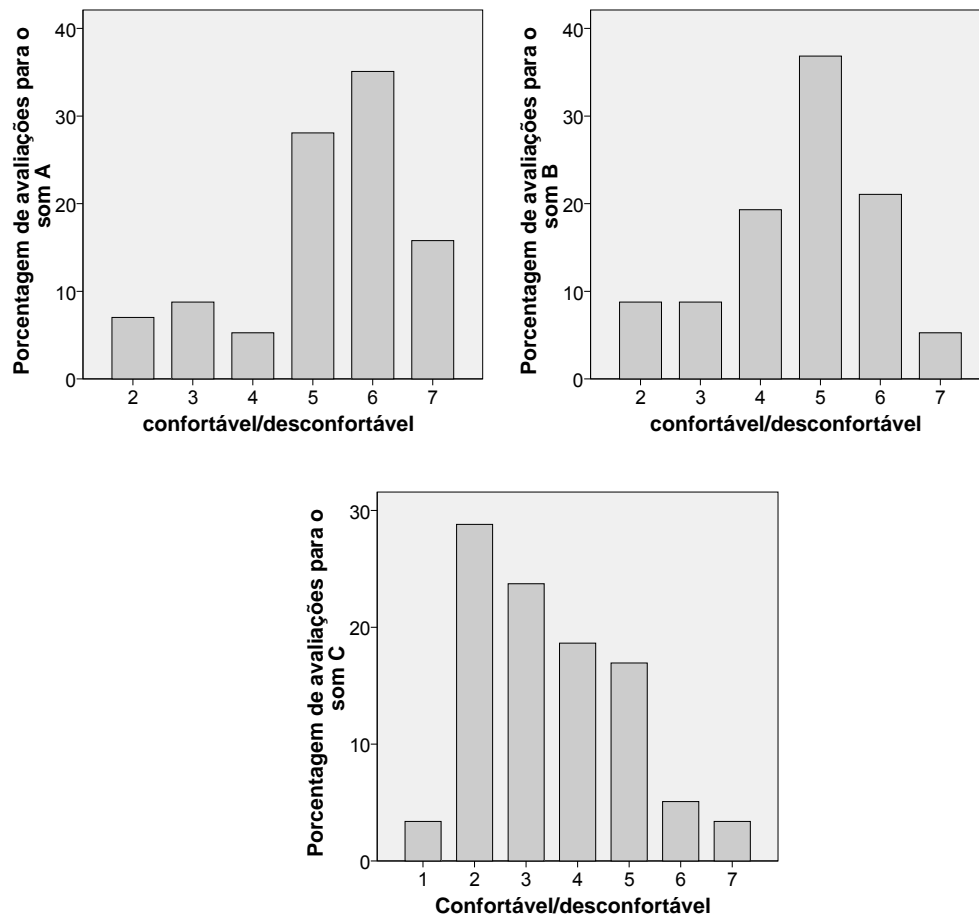


Figura 5.33 Gráfico de barras da percentagem de avaliações para o item confortável/desconfortável no DS para o som A, B e C.

As diferenças na distribuição das avaliações do par confortável/desconfortável dadas pelos participantes aos sons A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.34, a qual mostra que 50% das observações centrais das avaliações do som C estão mais próximas do adjetivo confortável do que as dos sons A e B.

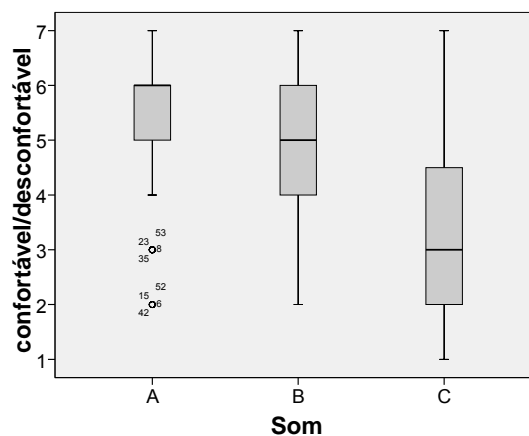


Figura 5.34 Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item confortável/desconfortável no DS para os sons A, B e C.

Os itens aceitabilidade, agradabilidade, suportabilidade, estabilidade, irritabilidade e perturbação apresentaram observações semelhantes as do conforto e, por esse motivo serão apresentados em conjunto.

Para o item agradável/desagradável, o valor 1 significa proximidade do adjetivo agradável e o valor 7 proximidade ao desagradável. As estatísticas apresentam-se na Tabela 5.20, em que se pode observar, por meio das medianas, que metade das pessoas avaliou o som A com maior proximidade para o adjetivo desagradável. O mesmo aconteceu com o som B, ainda que a mediana aponte que metade das pessoas avaliou o som B um ponto a menos na escala do que o som A. Isso mostra que as pessoas perceberam o som A como mais desconfortável que o som B. Esse resultado é confirmado quando analisamos o primeiro e o terceiro quartil. Por outro lado, na avaliação do som C, a mediana aponta que as observações estão divididas pelo centro da escala.

Tabela 5.20 Avaliações do item agradável/desagradável no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	2	2	1
Valor máximo	7	7	7
Mediana	6	5	4
25%	5	4	3
75%	6	6	5

Para o item estável/instável, o valor 1 significa proximidade do adjetivo estável e o valor 7 proximidade ao instável. As estatísticas são apresentadas na Tabela 5.21, na qual pode-se observar, pelas medianas que metade das pessoas avaliou o som A com maior proximidade para o adjetivo instável. O som B e o som C, por outro lado foram avaliados com maior proximidade ao adjetivo estável, ainda que a mediana aponte que metade das pessoas avaliou o som C com mais tendência para o adjetivo estável do que o som B.

Tabela 5.21 Avaliações do item estável/instável no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	1	1
Valor máximo	7	7	5
Mediana	6	3	2
25%	4,5	2	1
75%	6	5	3

Para o item aceitável/inaceitável, o valor 1 significa proximidade do adjetivo aceitável e o valor 7 proximidade ao inaceitável. As estatísticas são apresentadas na Tabela 5.22, na qual pode-se observar, pelas medianas, que metade das pessoas avaliou o som A com maior proximidade para o adjetivo inaceitável, apesar da grande dispersão dos dados. O som B e o som C, por outro lado foram avaliados com maior proximidade ao adjetivo aceitável, ainda que a mediana, primeiro e segundo quartis apontem que metade das pessoas percebeu o som C mais aceitável do que o som B.

Tabela 5.22 Avaliações do item aceitável/inaceitável no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	2	1
Valor máximo	7	6	6
Mediana	5	4	2
25%	4	3	2
75%	6	5	3

Para o item suportável/insuportável, cujas estatísticas apresentam-se na Tabela 5.23, pode-se observar, por meio das medianas que metade das pessoas avaliou o som A com maior proximidade para o adjetivo insuportável. Quando avaliaram o som B, apesar da grande dispersão dos resultados, 50% das avaliações centrais ficaram próximas ao meio da escala. Esses resultados contrastam com a avaliação do som C, o qual foi avaliado por metade das pessoas bem próximo do adjetivo suportabilidade.

Tabela 5.23 Avaliações do item suportável/insuportável no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	1	1
Valor máximo	7	7	5
Mediana	5	4	2
25%	3	2	2
75%	6	5	3

Essas diferenças nas avaliações do som A, B e C podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.35, a qual apresenta a metade central do som A mais deslocada para desagradável, instável, inaceitável e insuportável. Mostra também uma posição central do som B referente a esses itens e o som C com tendência em ficar próximo aos adjetivos agradável, estável, aceitável e suportável.

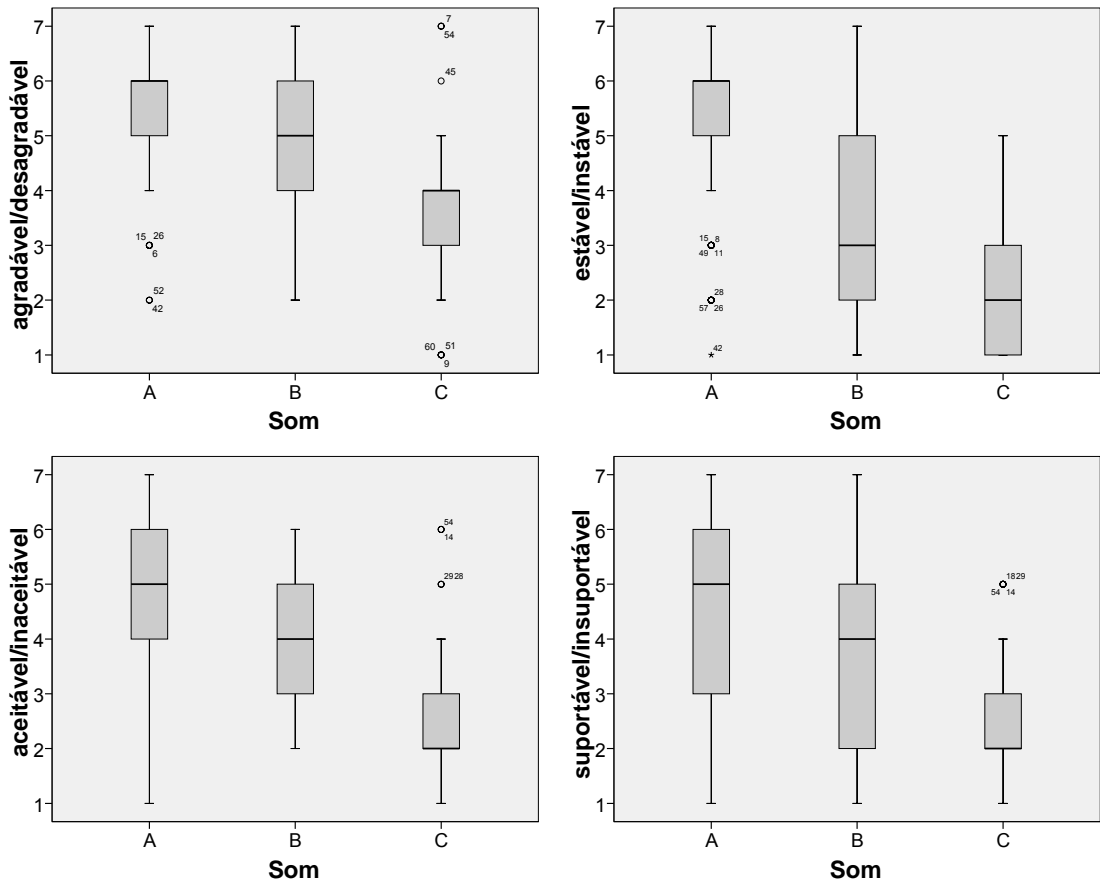


Figura 5.35 Diagrama de caixa comparativo dos resultados dos itens agradável/desagradável, estável/instável, aceitável/inaceitável, suportável/insuportável no DS para os sons A, B e C.

Para os itens irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador, os resultados são próximos daqueles associados ao conforto. Todavia, por se tratar de polaridade invertida, encontram-se invertidos. De acordo com as estatísticas apresentadas na Tabela 5.24 e 5.25, por meio da mediana observa-se que esta segue uma tendência crescente do som A ao C, ressaltando o maior valor da mediana para o som A, o que significa que as avaliações para o som A foram mais próximas do item irritante e perturbador, enquanto que para o som C as avaliações foram mais próximas do adjetivo não-irritante.

Tabela 5.24 Avaliações do item irritante/não-irritante no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	1	1
Valor máximo	7	7	7
Mediana	2	3	5
25%	2	2	4
75%	3	4	6

Tabela 5.25 Avaliações do item perturbador/não-perturbador no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	1	2
Valor máximo	7	6	7
Mediana	2	3	5
25%	2	2	3
75%	3	4	6

As diferenças nas avaliações dos sons A, B e C para os itens irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 5.37.

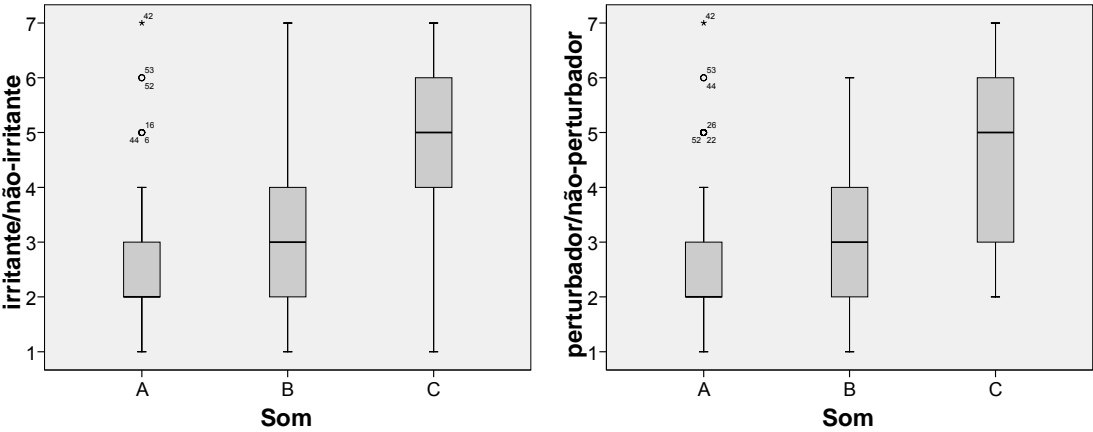


Figura 5.36 Diagrama de caixa comparativo dos resultados dos itens irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador no DS para os sons A, B e C.

Diferente do comportamento dos demais itens, onde as avaliações entre os sons eram distintas, na Tabela 5.26, em que se apresentam as estatísticas para o item intenso/não-intenso, os sons foram percebidos igualmente com valores médios com leve tendência ao adjetivo intenso.

Tabela 5.26 Avaliações do item intenso/não-intenso no DS para os sons A, B e C.

	som A	som B	som C
Valor mínimo	1	1	1
Valor máximo	6	6	7
Mediana	3	3	5
25%	2	3	3
75%	4	4	5

Essa semelhança na percepção da intensidade do som pode ser melhor visualizada na Figura 5.37.

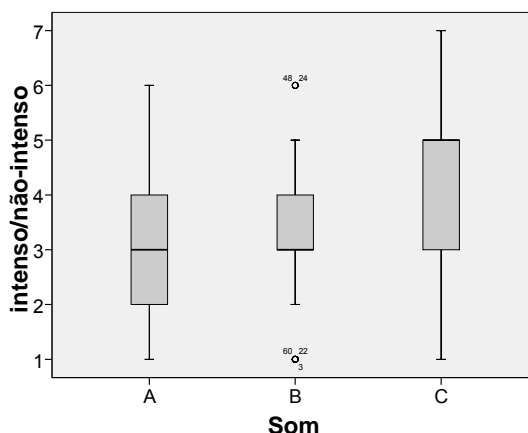


Figura 5.37 Diagrama de caixa comparativo dos resultados do item intenso/não-intenso no DS para os sons A, B e C.

Da mesma forma que a análise bivariada para variáveis quantitativas analisa a relação entre duas variáveis através do diagrama de dispersão e do coeficiente de correlação, a análise bivariada para variáveis qualitativas (nominais ou ordinais), que é o caso dos dados produzidos pelo DS, utiliza as tabelas de dupla entrada e o teste qui-quadrado (coeficiente de associação). Porém, como a análise multivariada surge precisamente para sintetizar o conjunto das relações entre os atributos, não faz sentido utilizar a análise bivariada separadamente.

Com o objetivo de representar as semelhanças entre as avaliações de cada indivíduo e a relação entre os oito atributos em um espaço de menor dimensão, foi feita a Análise Fatorial. Cada ponto é uma observação, um participante avaliando um som nos 8 atributos, logo o gráfico apresenta 180 pontos. A distância entre dois pontos representa a diferença entre duas observações. Pontos distantes representam participantes que avaliaram com valores muito diferentes nos 8 atributos ao som. Pontos coincidentes representam participantes que avaliaram com valores idênticos nos 8 atributos ao som, pontos próximos representam participantes que avaliaram o som com valores semelhantes nos 8 atributos.

Com a Figura 5.38 observa-se que a configuração dos pontos (avaliação de uma pessoa, sobre um som com oito atributos) não é linear, caracterizando uma parábola.

A diferença dessa análise para os outros métodos (ER e EM) é a escala de avaliação, onde no DS se tem 7 modalidades (pontos na escala).

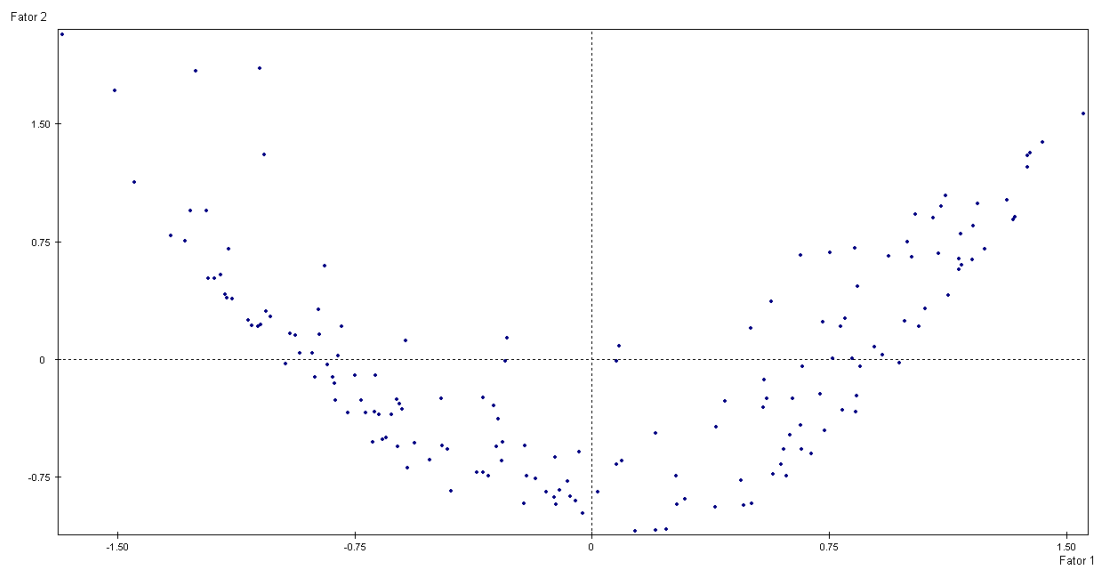


Figura 5.38 Gráfico das observações: Projeção das observações no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.39 os pontos A, B, C representam a avaliação média dada por todos os participantes nos 8 atributos aos sons. O primeiro eixo opõe o som C (à esquerda da origem) dos sons A e B (a direita). Observa-se maior diferença entre as avaliações do som C e A, e maior proximidade no comportamento das avaliações feitas para os sons A e B.

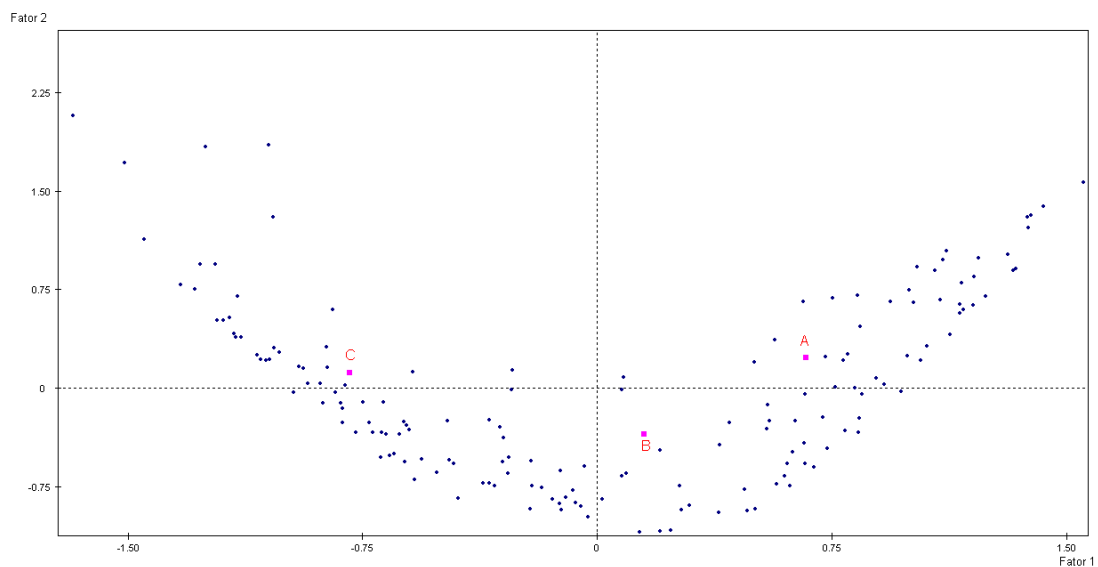


Figura 5.39 Projeção dos sons A, B, C no primeiro plano fatorial.

Com a Figura 5.40 pode-se verificar a projeção da pergunta inicial, sobre a perturbação causada pelo ruído. Pode-se observar que as médias dos grupos que marcaram as três

opções (sim, não e indiferente) não podem ser consideradas como uma causa de variabilidade das respostas, uma vez que se encontram muito próximas uma das outras.

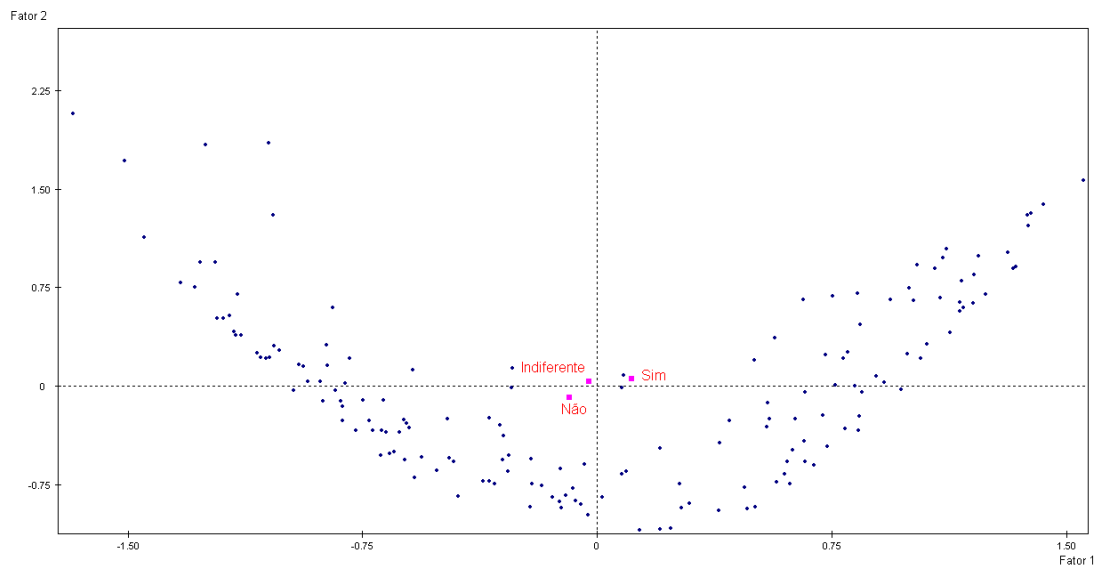


Figura 5.40 Projeção de “O ruído causa perturbação?” no primeiro plano fatorial.

A associação das modalidades pode ser visualizada no gráfico fatorial (Figura 5.41) projetando todas as modalidades (pontos ou valores da escala) de todos os atributos no primeiro plano fatorial. Neste gráfico, cada ponto representa uma modalidade, ou seja, um ponto (valor) da escala. Como cada escala tem sete pontos (valores) diferentes e são 8 atributos, serão ao todo 56 pontos no gráfico.

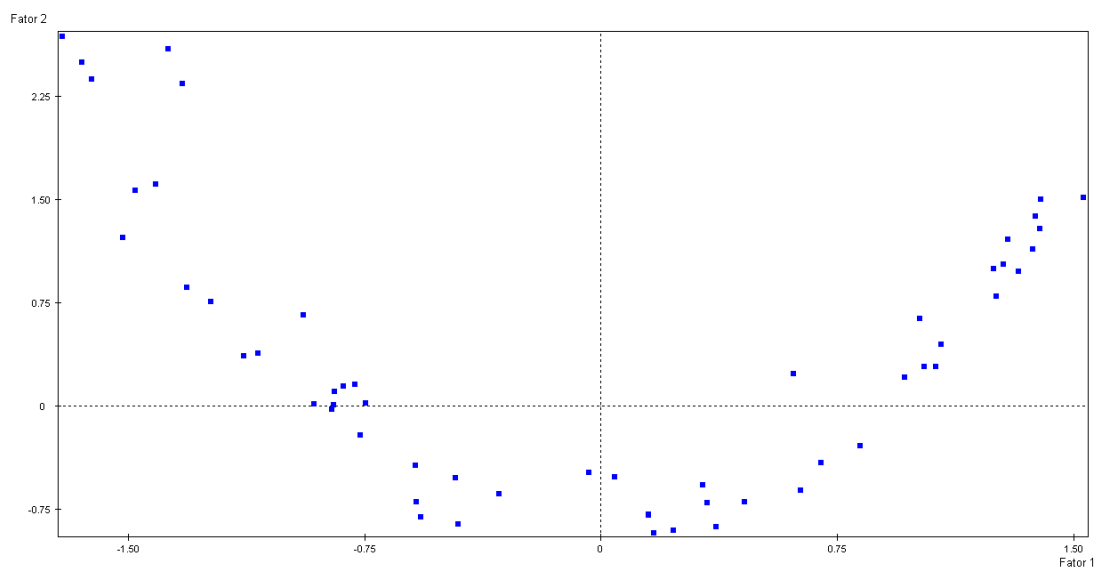


Figura 5.41 Projeção das modalidades dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial

Na Figura 5.42 a projeção das modalidades inclui a legenda. A legenda das modalidades é composta por três letras que representam o atributo, separadas pelo traço do valor da escala (modalidade). Por exemplo, à qualificação de um som com modalidade 3 na escala de confortável/desconfortável corresponde a legenda Con_3.

A proximidade entre modalidades (distância entre pontos do gráfico) se interpreta de forma diferente, dependendo se elas pertencem ao mesmo atributo ou não. Duas modalidades de diferentes escalas estão próximas no plano se elas foram escolhidas conjuntamente por um grande número de indivíduos. Pode-se dizer que elas estão associadas. Duas modalidades da mesma escala estão próximas no plano se ambas as classes de indivíduos são semelhantes na escolha das outras escalas (semelhança entre classes de indivíduos).

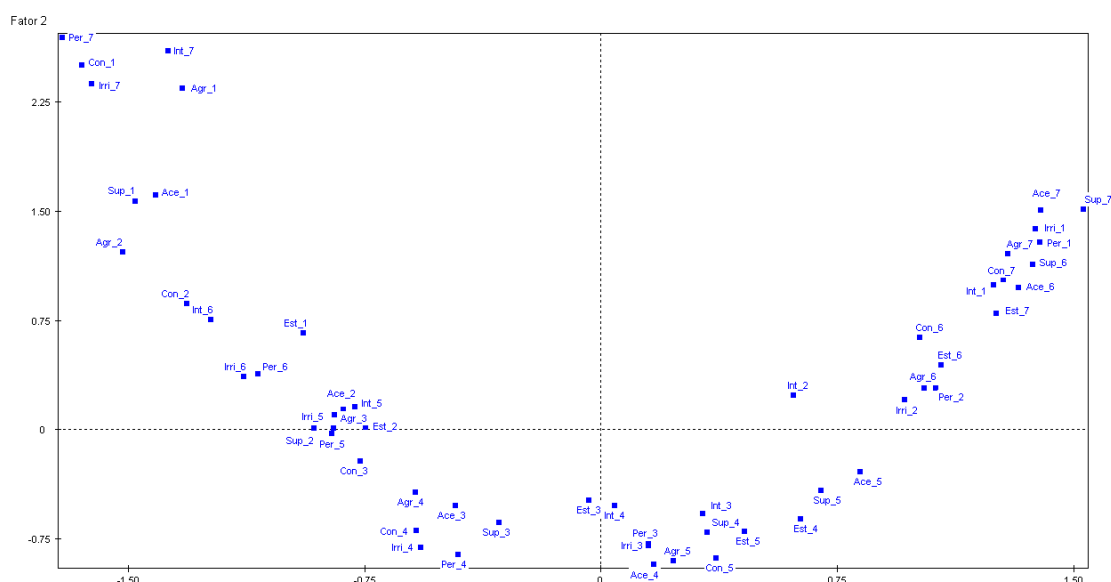


Figura 5.42 Projeção das modalidades dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial – com legenda.

Nas Figuras 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47, 5.48, 5.49 e 5.50 temos as projeção das modalidades dos atributos dos sons no primeiro plano fatorial, ou seja, as trajetórias das modalidades dos atributos. É característica de escalas deste tipo (sete pontos, *Likert*, etc.) que a configuração seja de forma que represente uma parábola.

Na Figura 5.43, onde estão projetadas as modalidades do atributo confortável/desconfortável, podemos observar a distribuição dessas ao longo da escala, o que significa dizer que os participantes avaliaram de diferente forma cada uma das modalidades. Fato constatado para todos os atributos, exceto para o estável/instável.

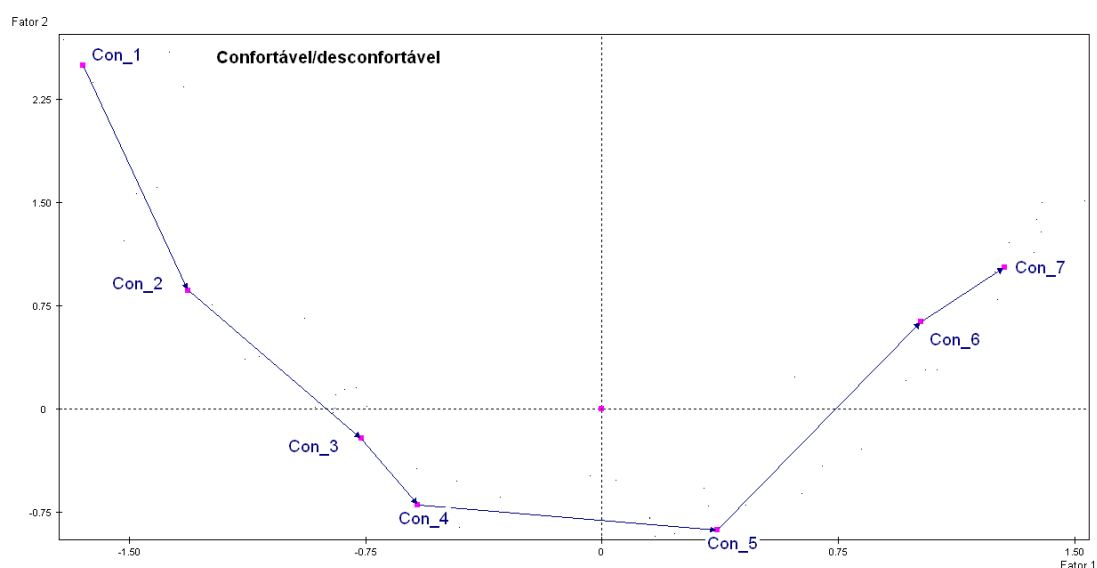


Figura 5.43 Projeção das modalidades do atributo confortável/desconfortável dos três sons no primeiro plano fatorial.

Na Figura 5.44, observa-se uma inversão das modalidades 4 e 5. Isso mostra que os participantes não diferenciaram as avaliações dessas modalidades, ou seja, avaliaram a estabilidade da mesma maneira para a modalidade 4 e 5. A redução da escala para este atributo pode facilitar a avaliação.

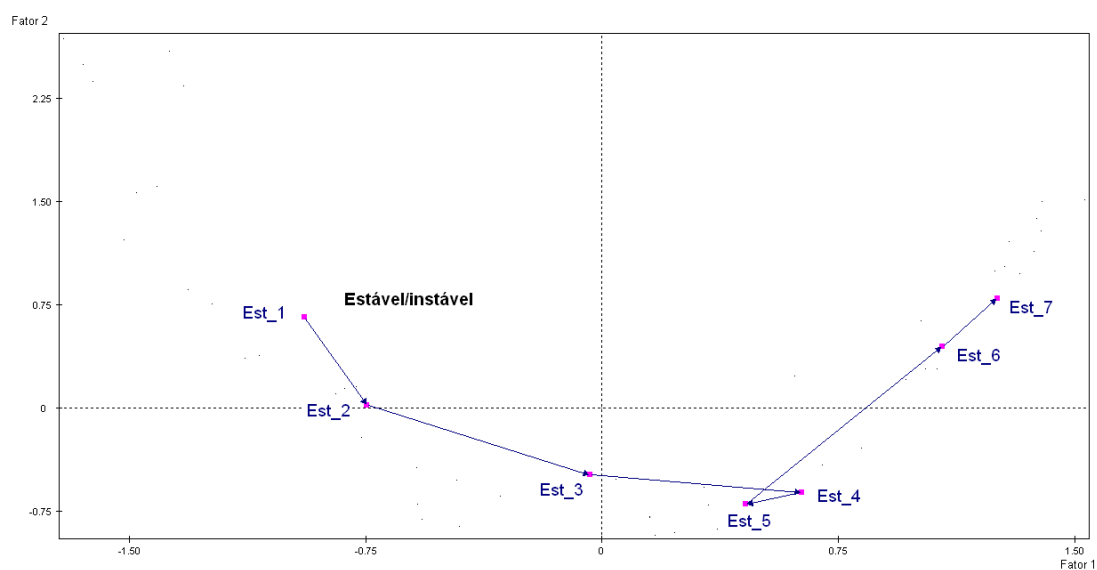


Figura 5.44 Projeção das modalidades do atributo estável/instável dos três sons no primeiro plano fatorial.

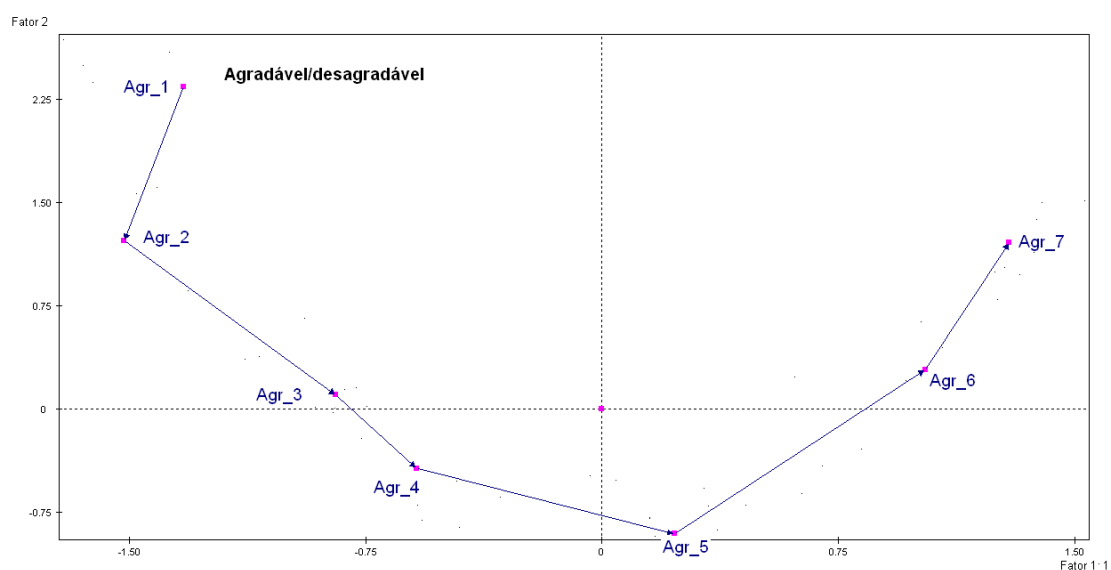


Figura 5.45 Projeção das modalidades do atributo agradável/desagradável dos três sons no primeiro plano fatorial.

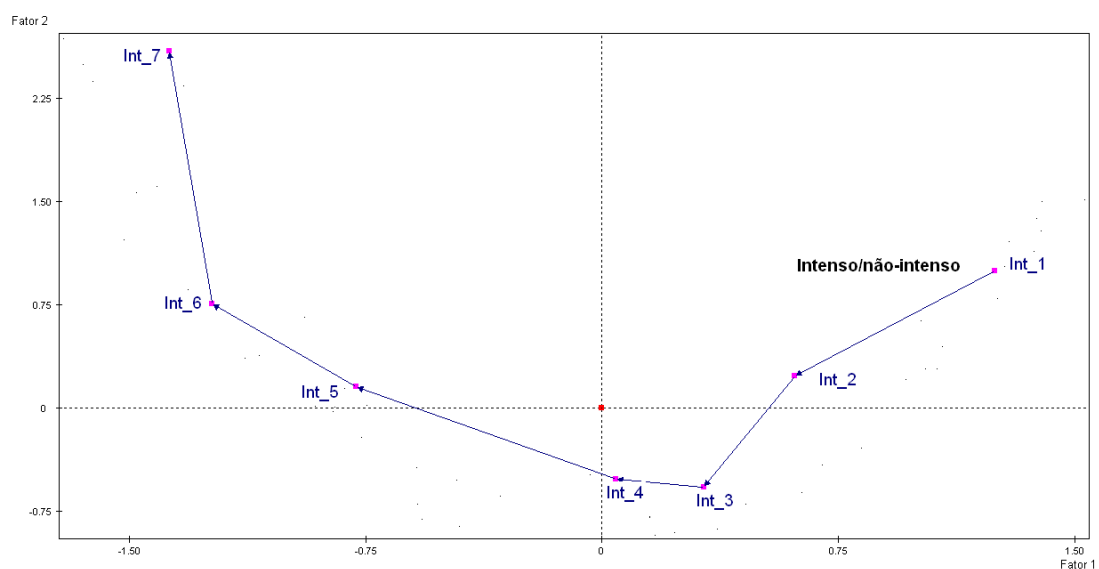


Figura 5.46 Projeção das modalidades do atributo intenso/não-intenso dos três sons no primeiro plano fatorial.

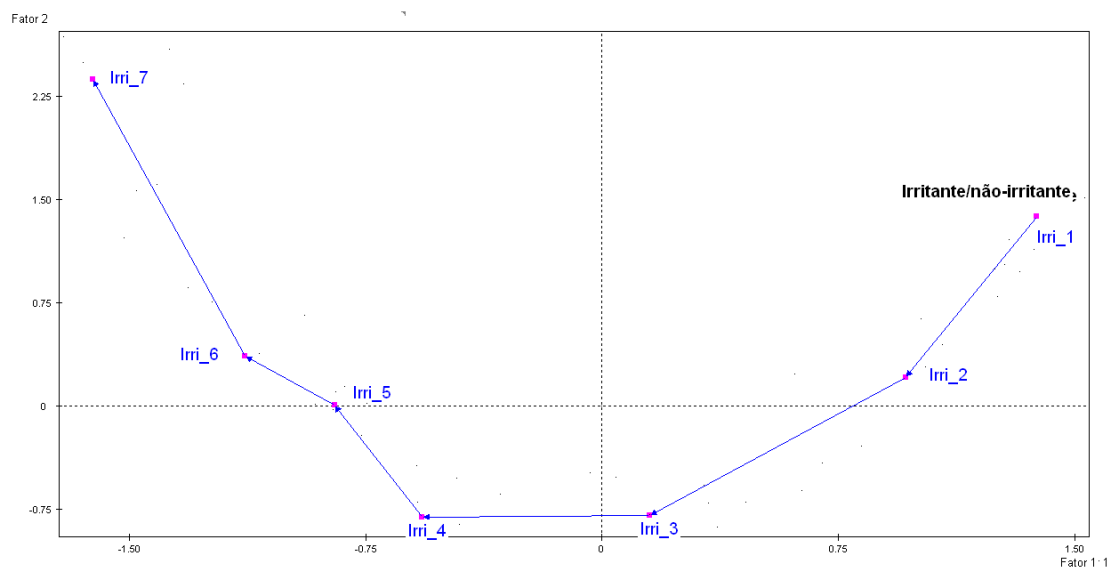


Figura 5.47 Projeção das modalidades do atributo irritante/não-irritante dos três sons no primeiro plano fatorial.

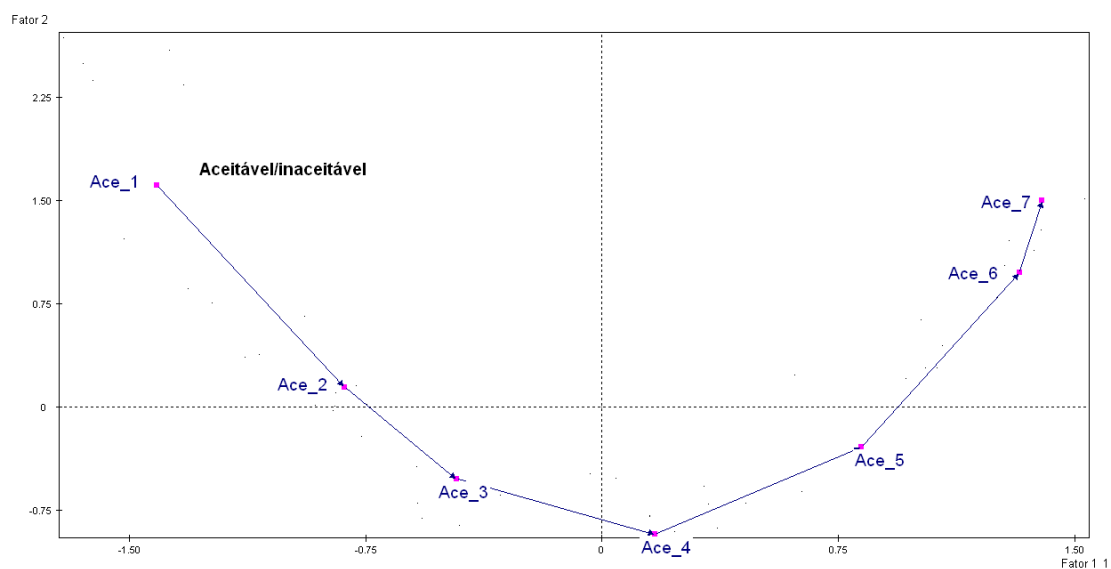


Figura 5.48 Projeção das modalidades do atributo aceitável/inaceitável dos três sons no primeiro plano fatorial.

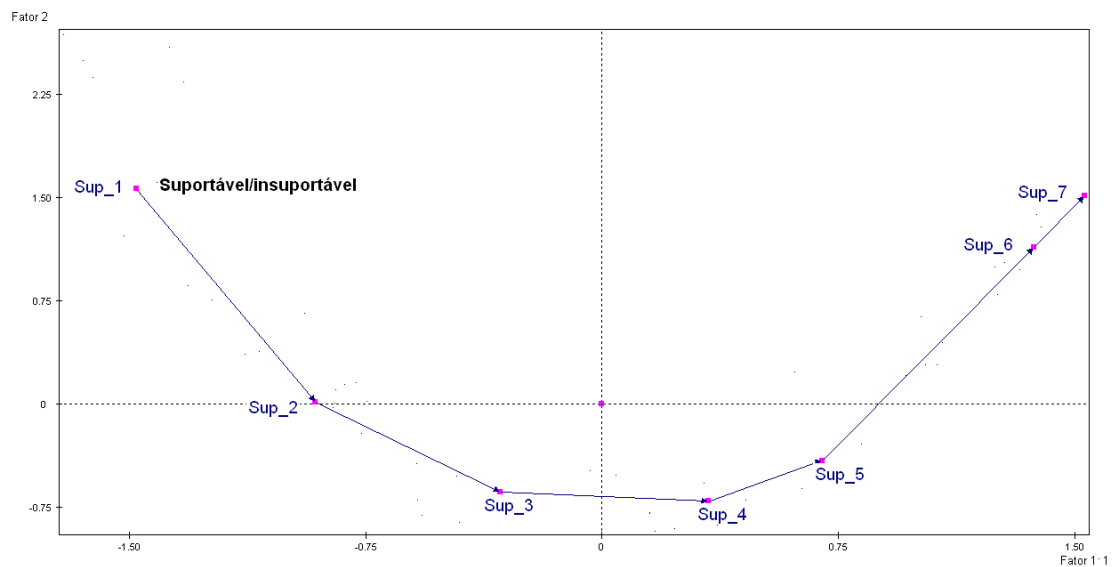


Figura 5.49 Projeção das modalidades do atributo suportável/não-suportável dos três sons no primeiro plano fatorial.

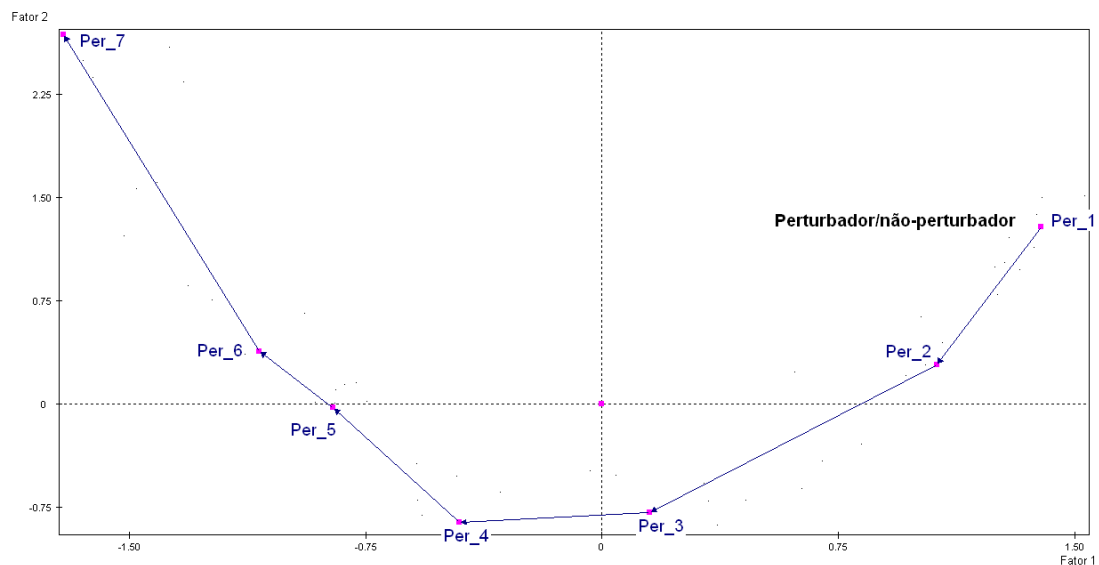


Figura 5.50 Projeção das modalidades do atributo perturbador/não-perturbador dos três sons no primeiro plano fatorial.

Após a observação das trajetórias de cada atributo, esta análise possibilita a projeção das modalidades de todos os atributos dos sons no primeiro plano fatorial (Figura 5.51). Comparando as trajetórias, apesar da proximidade nos valores centrais, devem-se enfatizar as diferenças demonstradas pelos extremos da escala.

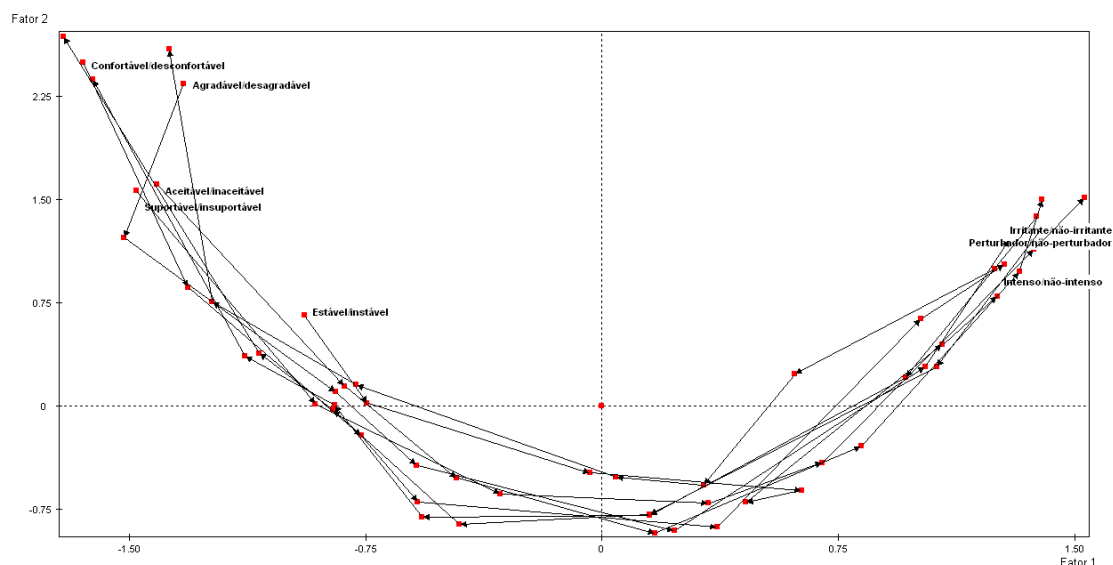


Figura 5.51 Projeção das modalidades de todos os atributos dos três sons no primeiro plano fatorial.

Para melhor visualização, são projetados na Figura 5.52 apenas os atributos irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador. Observa-se que os atributos estão bem associados, ou seja, os participantes avaliaram os sons da mesma maneira. Com isso, pode concluir que a exclusão de um desses atributos não afetaria a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

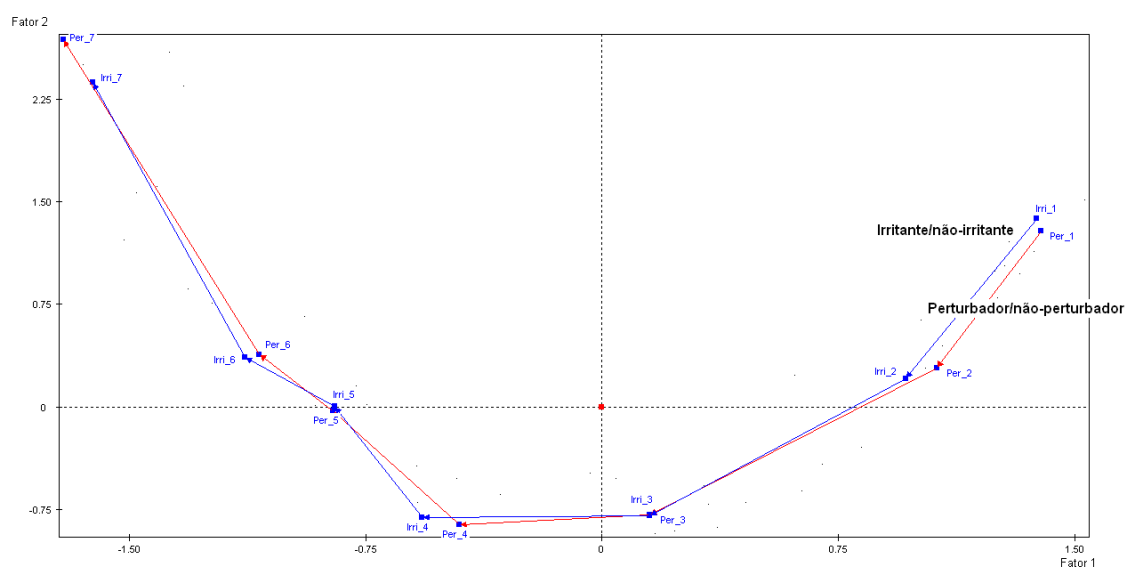


Figura 5.52 Projeção das modalidades dos atributos irritante/não-irritante e perturbador/não-perturbador dos três sons no primeiro plano fatorial.

Com a Figura 5.53, onde estão projetados quatro atributos de uma vez, podemos observar a associação entre aceitável/inaceitável e suportável/insuportável, uma vez que as trajetórias estão sobrepostas. Também se observa a associação entre confortável/desconfortável e agradável/desagradável, mesmo que na primeira modalidade eles não estejam sobrepostos. A partir dessa figura, poderiam ser retirados dois atributos, sem prejudicar a avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves.

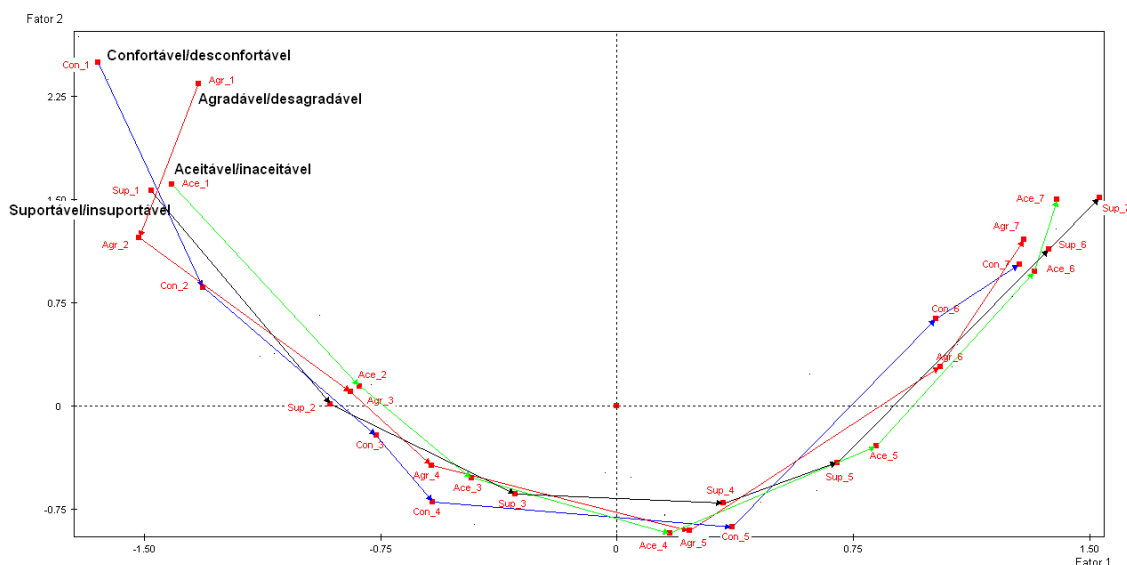


Figura 5.53 Projeção das modalidades dos atributos confortável/desconfortável, agradável/desagradável, aceitável/inaceitável, suportável/insuportável dos três sons no primeiro plano fatorial.

5.5.2 Conclusão do DS

A avaliação por meio do DS concordou com os resultados obtidos na avaliação dos sons com a ER e EM, quando se destaca a diferença de avaliação entre o som C e os demais.

O método possibilita uma avaliação criteriosa, uma vez que se utiliza de sete modalidades (pontos na escala). Esta quantidade de modalidades não se mostrou necessária para o atributo estável/instável, em que houve inversão da escala, demonstrando que o número de pontos para a escala do diferencial semântico deve ser mais bem estudada.

A principal conclusão do DS, diferente dos resultados para a ER e a EM, onde seria suficiente avaliar com um atributo, se resume na redução dos oito atributos, sugeridos no Capítulo 3, para cinco (1-perturbador/não-perturbador ou irritante/não-irritante, 2-suportável/insuportável ou aceitável/inaceitável, 3-confortável/desconfortável ou agradável/desagradável, 4- intenso/não-intenso, e 5- estável/instável).

O fato da natureza dos dados do DS serem qualitativos faz com que as avaliações subjetivas sejam melhor representadas.

5.6 Comparação Pareada (CP)

Na CP os sons foram apresentados aos pares (AB, AC e BC) para cada um dos oito atributos. Sendo que para cada atributo, o participante foi solicitado a escolher um dos sons do par que melhor representasse o atributo. Não foi feito re-teste (BA, CA e CB) para diminuir a tarefa associada com esse método.

5.6.1 Resultados da CP

Quando o participante foi solicitado a escolher o som mais confortável, observa-se, por meio da Tabela 5.27, que o som B, quando comparado com o som A foi escolhido como mais confortável, diferente de quando foi comparado com o som C, onde esse foi o escolhido como mais confortável. O som C também foi escolhido como mais confortável quando comparado com o som A.

Tabela 5.27 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais confortável nos três pares de sons.

Som	Frequência (N)	Porcentagem (%)
A	20	33,3
B	40	66,7
Total	60	100
A	3	5
C	57	95
Total	60	100
B	5	8,3
C	55	91,7
Total	60	100

Esses resultados também foram encontrados quando os participantes foram solicitados a escolher o som mais aceitável, suportável, agradável, e estável (Tabelas 5.28, 5.29, 5.30 e 5.31).

Tabela 5.28 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais aceitável nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	18	30
B	42	70
Total	60	100
A	5	8,3
C	55	91,7
Total	60	100
B	6	10
C	54	90
Total	60	100

Tabela 5.29 Frequência e Porcentagem de respostas para a escolha do som mais suportável nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	19	31,7
B	41	68,3
Total	60	100
A	4	6,7
C	56	93,3
Total	60	100
B	5	8,3
C	55	91,7
Total	60	100

Tabela 5.30 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais agradável nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	16	26,7
B	44	73,3
Total	60	100
A	4	6,7
C	56	93,3
Total	60	100
B	7	33,3
C	53	66,7
Total	60	100

Tabela 5.31 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais estável nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	6	10
B	54	90
Total	60	100
A	3	5
C	57	95
Total	60	100
B	6	10
C	54	90
Total	60	100

Quando o participante foi solicitado a escolher o som mais irritante (Tabela 5.32), ao comparar o som A com o som B e som A com som C, a maioria escolheu o som A. Ao comparar som B com C, a maioria escolheu o som B. Resultados similares foram encontrados na escolha do som mais perturbador (Tabela 5.33).

Tabela 5.32 Frequência e Porcentagem de respostas para escolha do som mais irritante nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	41	68,3
B	19	31,7
Total	60	100
A	56	93,3
C	4	6,7
Total	60	100
B	53	88,3
C	7	11,7
Total	60	100

Tabela 5.33 Frequência e Porcentagem de respostas para escolha do som mais perturbador nos três pares de sons.

Som	Freq. (N)	Porc. (%)
A	43	71,7
B	17	28,3
Total	60	100
A	55	91,7
C	5	8,3
Total	60	100
B	52	86,7
C	8	13,3
Total	60	100

Ao escolher o som mais intenso (Tabela 5.34), quando comparavam o som A com o B, as pessoas dividiram as opiniões. Metade escolheu o som A e metade escolheu o som B. Todavia quando comparavam o som A com o som C, a maioria escolheu o som A e, quando comparavam o som B com o som C a maioria escolheu o som B. Mostrando que, apesar de não se posicionarem quanto ao som A e B, o som C foi o menos escolhido como intenso.

Tabela 5.34 Frequência e porcentagem de respostas para a escolha do som mais intenso nos três pares de sons.

Som	Frequência (N)	Porcentagem (%)
A	29	48,3
B	31	51,7
Total	60	100
A	48	80
C	12	20
Total	60	100
B	52	86,7
C	8	13,3
Total	60	100

Para a análise estatística foi aplicado um teste não-paramétrico, binomial (Tabela 5.35) que é utilizado em experimentos que admitem apenas duas alternativas como resposta e também é apropriado para a quantidade de observações. Este teste avalia a probabilidade dos sons terem sido avaliados de maneira estatisticamente não-diferentes, ainda que as tabelas de frequência sejam desiguais em termos puramente numéricos.

Tabela 5.35 Tabela síntese de resultados significativos para o Teste Binomial.

itens	AXB	AXC	BXC
aceitável	* $p=0,003$	**	**
agradável	**	**	**
estável	**	**	**
intenso	*** $p=0,897$	* *	**
irritante	* $p=0,006$	**	**
perturbador	* $p=0,001$	**	**
suportável	* $p=0,006$	**	**
confortável	* $p=0,013$	**	**

* significativo para $\alpha = 0,05$ ** significativo $p=0,000$

*** não significativo

Analisando a aplicação do teste estatístico, conforme a Tabela 5.35, observa-se que as avaliações podem ser consideradas diferentes na maioria dos pares, exceto nos pares AXB, em que a análise mostra que os participantes não definiram qual é o som mais intenso. Essa análise deixa claro que o som C é o som mais confortável, uma vez que foi escolhido como tal quando comparado com os demais sons, e que o som A foi avaliado como o menos confortável, pois não foi escolhido quando comparado com C e B.

Quando é verificado o número de escolhas feitas ao total por cada som, observa-se que o som C foi escolhido como o mais confortável, agradável, aceitável, estável e suportável. Isso pode ser visualizado com a Figura 5.54.

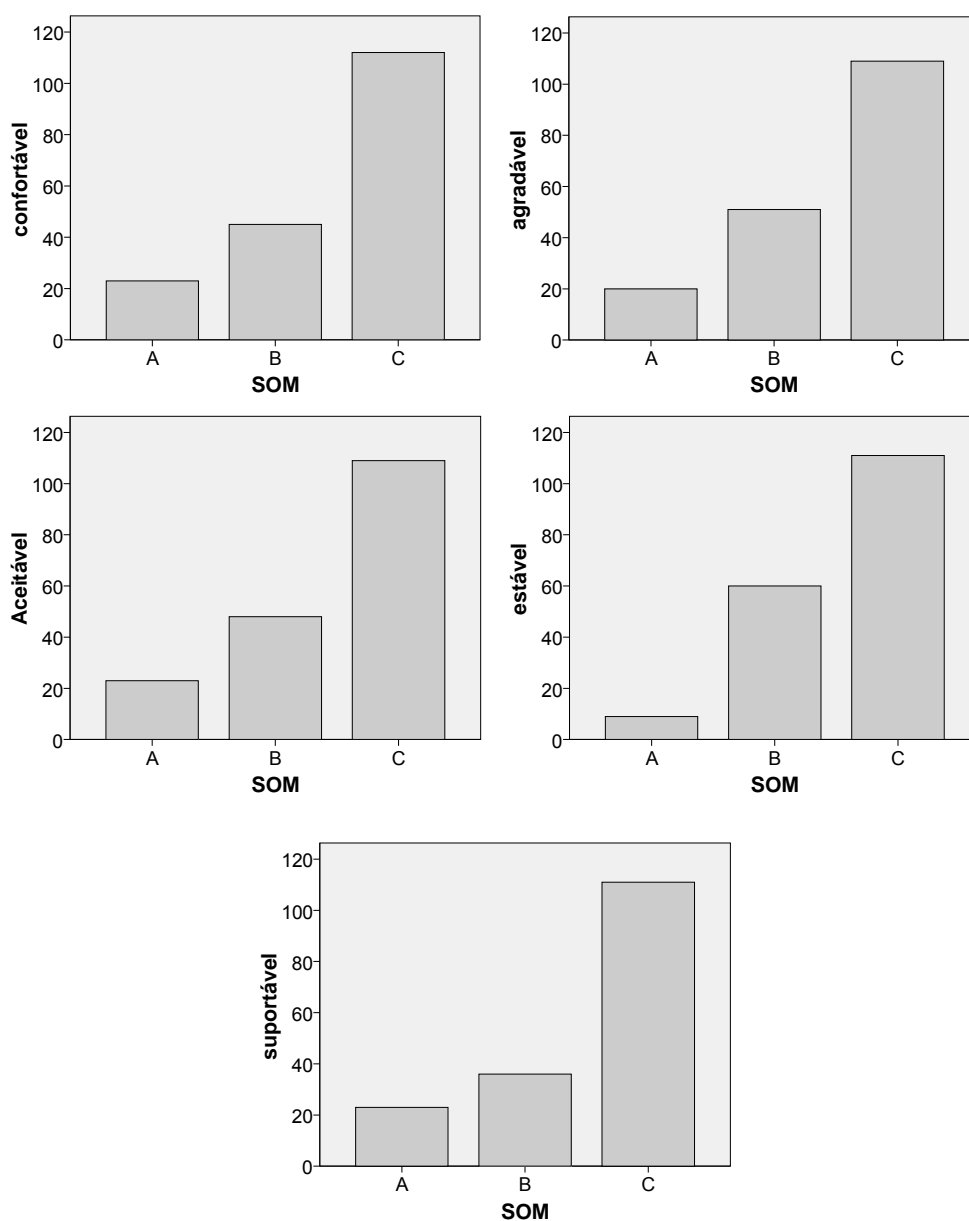


Figura 5.54 Somatória das escolhas pelo som mais confortável, agradável, aceitável, estável e suportável.

Quando se verifica o número de escolhas feitas ao total por cada som, observa-se que o som A foi escolhido com o mais irritante e perturbador. Isso pode ser visualizado com a Figura 5.55.

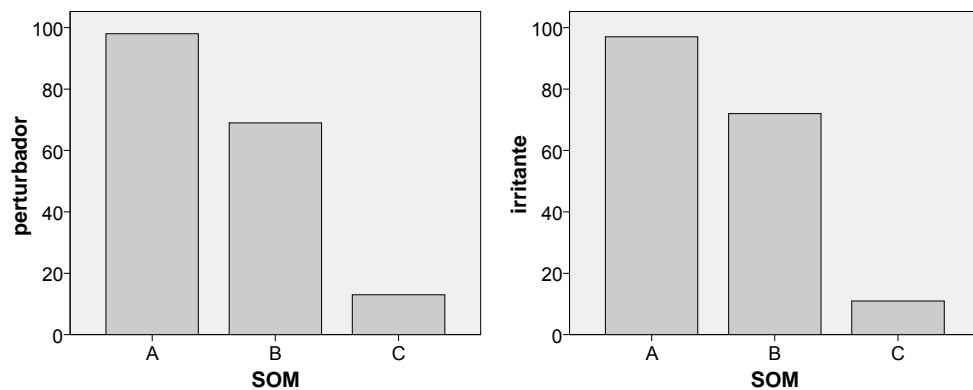


Figura 5.55 Somatória das escolhas pelo som mais irritante e perturbador.

Quando se verifica o número de escolhas totais do som mais intenso, observa-se que o som A e o som B foram escolhidos um número próximo de vezes, enquanto que o som C foi o menos escolhido (Figura 5.56).

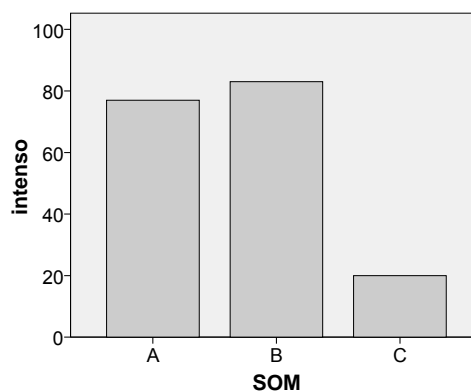


Figura 5.56 Somatória das escolhas pelo som mais intenso.

Outra forma de analisar os dados da comparação pareada é utilizando uma avaliação empírica, mesmo não sendo suportada pela estatística. Esta análise empírica sugere a organização de uma tabela. Cada elemento x_{ij} indica o número de escolhas do som i diante o som j . Por exemplo, o elemento 20, utilizado para representar o número de escolhas do som A sob o som B, que está localizado na segunda linha e terceira coluna, como representado na Tabela 5.36.

Tabela 5.36 Matriz de escolha para o som mais confortável (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	20	3	23
B	40	0	5	45
C	57	55	0	112

Tabela 5.37 Matriz de escolha para o som mais confortável (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	33.3%	5.0%
B	66.7%	0.0%	8.3%
C	95.0%	91.7%	0.0%

Tabela 5.38 Matriz de escolha o som mais confortável (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	0	0
B	1	0	0	1
C	1	1	0	2

Na Tabela 5.36, a última coluna apresenta a soma das escolhas do som em todos os pares. Para decidir o som mais confortável, associa-se com o maior número de escolhas. Por meio dessa análise de frequência de escolhas podemos observar que as frequências do som C > som B > som A, classificando assim o som C como o mais confortável e o som A como o menos confortável.

Na Tabela 5.37 apresentam-se as escolhas em porcentual. Na Tabela 5.38 tem-se outra análise para os mesmos dados. Quando o número de escolhas ultrapassa 50% das escolhas de um par, atribui-se o valor 1, e quando fica abaixo de 50% atribui-se zero. Da mesma forma que para a Tabela 5.36 a última coluna da Tabela 5.37 apresenta a soma dos valores em todos os sons, em todos os pares. Para decidir o som mais confortável, associa-se com o maior valor. Novamente o som C foi escolhido como o mais confortável, seguido do som B e A.

Para as escolhas do som mais aceitável, agradável, estável, e suportável as conclusões seguem a mesma tendência e podem ser visualizadas da Tabela 5.39 até a 5.50.

Tabela 5.39 Matriz de escolha para o som mais aceitável (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	18	5	23
B	42	0	6	48
C	55	54	0	109

Tabela 5.40 Matriz de escolha para o som mais aceitável (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	30.0%	8.3%
B	70.0%	0.0%	10.0%
C	91.7%	90.0%	0.0%

Tabela 5.41 Matriz de escolha o som mais aceitável (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	0	0
B	1	0	0	1
C	1	1	0	2

Tabela 5.42 Matriz de escolha para o som mais agradável (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	16	4	20
B	44	0	7	51
C	56	53	0	109

Tabela 5.43 Matriz de escolha para o som mais agradável (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	26.7%	6.7%
B	73.3%	0.0%	11.7%
C	93.3%	88.3%	0.0%

Tabela 5.44 Matriz de escolha o som mais agradável (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	0	0
B	1	0	0	1
C	1	1	0	2

Tabela 5.45 Matriz de escolha para o som mais estável (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	6	3	9
B	54	0	6	60
C	57	54	0	111

Tabela 5.46 Matriz de escolha para o som mais estável (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	10.0%	5.0%
B	90.0%	0.0%	10.0%
C	95.0%	90.0%	0.0%

Tabela 5.47 Matriz de escolha o som mais estável (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	0	0
B	1	0	0	1
C	1	1	0	2

Tabela 5.48 Matriz de escolha para o som mais suportável (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	19	4	23
B	41	0	5	46
C	56	55	0	111

Tabela 5.49 Matriz de escolha para o som mais suportável (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	31.7%	6.7%
B	68.3%	0.0%	8.3%
C	93.3%	91.7%	0.0%

Tabela 5.50 Matriz de escolha o som mais suportável (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	0	0
B	1	0	0	1
C	1	1	0	2

No entanto, quando são analisadas as escolhas para o som mais irritante e mais perturbador, por meio das Tabelas 5.51, 5.52 e 5.53 para irritante e Tabelas 5.54, 5.55 e

5.56 para perturbador, observa-se uma inversão pelo fato do atributo ser negativo. O som A foi o mais escolhido, seguido do som B e C.

Tabela 5.51 Matriz de escolha para o som mais irritante (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	41	56	97
B	19	0	53	72
C	4	7	0	11

Tabela 5.52 Matriz de escolha para o som mais irritante (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	68.3%	93.3%
B	31.7%	0.0%	88.3%
C	6.7%	11.7%	0.0%

Tabela 5.53 Matriz de escolha o som mais irritante (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	1	1	2
B	0	0	1	1
C	0	0	0	0

Tabela 5.54 Matriz de escolha para o som mais perturbador (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	43	55	98
B	17	0	52	69
C	5	8	0	13

Tabela 5.55 Matriz de escolha para o som mais perturbador (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	71.7%	91.7%
B	28.3%	0.0%	86.7%
C	8.3%	13.3%	0.0%

Tabela 5.56 Matriz de escolha o som mais perturbador (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	1	1	2
B	0	0	1	1
C	0	0	0	0

Analisando as escolhas para o som mais intenso, essa análise aponta o som B sendo o mais escolhido, seguido do som A e som C, nessa ordem.

Tabela 5.57 Matriz de escolha para o som mais intenso (a).

Sons	A	B	C	Total
A	0	29	48	77
B	31	0	52	83
C	12	8	0	20

Tabela 5.58 Matriz de escolha para o som mais intenso (b).

Sons	A	B	C
A	0.0%	48.3%	80.0%
B	51.7%	0.0%	86.7%
C	20.0%	13.3%	0.0%

Tabela 5.59 Matriz de escolha o som mais intenso (c).

Sons	A	B	C	Total
A	0	0	1	1
B	1	0	1	2
C	0	0	0	0

5.6.2 Conclusões da Comparação Pareada

Na avaliação dos sons conclui-se, que o som C foi mais vezes escolhido, seguido do som B e A para os atributos relacionados com o conforto, enquanto que o som A foi mais vezes escolhido como o mais irritante e perturbador.

O fato de a CP apresentar os estímulos aos pares facilita o julgamento pelos ouvintes, onde a complexidade da tarefa é reduzida, uma vez que o ser humano está acostumado a fazer escolhas pareadas no dia a dia. Ainda que exista a discussão entre os pesquisadores da área, sobre a CP não ser um método natural, ou seja, as pessoas não saem de uma poltrona de uma aeronave para a outra pra julgar o som. Com o auxílio do software, tentou-se contornar a questão da memória auditiva ser relativamente limitada. Essa limitação da memória faz, muitas vezes, que o participante “esqueça” de algumas características como volume, p.ex. Para isso, o software possibilitou deixar livre ao participante, ouvir quantas vezes fosse necessário cada som até que possibilitasse fazer a comparação entre os estímulos.

Considerando o desenho metodológico, em que se avaliou um número reduzido de sons, não foi possível verificar a problemática da CP relatada na literatura e observada em estudos anteriores pela autora desse estudo, que limita o método a um número máximo de 7 sons comparados entre si, sem o re-teste. Essa limitação é devida ao cansaço do júri relacionado ao número de pares avaliados e conseqüente diminuição na fidedignidade dos resultados e da transitividade¹⁷.

5.7 Ordenamento

No Ordenamento, para cada um dos oito atributos, o participante foi solicitado a ordenar os sons, considerando como primeiro, o som que mais caracterizava o atributo. Por exemplo, para o atributo conforto, o participante foi solicitado a ordenar os sons, sendo que o primeiro devia ser o mais confortável. Essa designação de que o primeiro som deveria ser o mais “confortável”, por exemplo, foi aplicada para evitar que, nas escalas negativas, as pessoas, ao avaliar a irritação, ordenassem os sons colocando o som mais irritante em última posição. Fato constatado nos pré-testes das avaliações com os métodos. A tabela de dados resultantes dessa observação está anexada por meio magnético.

5.7.1 Resultados do Ordenamento

Para a análise dos dados do ordenamento, considerando que se estudam três sons, existem 6 possibilidades de combinações de resposta. Como o ordenamento é dependente

¹⁷ Transitividade, algumas vezes abordada como consistência, coerência ou lógica.
Regra de transitividade. Se $\alpha \rightarrow \beta$ e $\beta \rightarrow \delta$, então $\alpha \rightarrow \delta$.

entre si, não se justifica analisar os postos atribuídos a cada som e sim o comportamento dos três postos em conjunto.

Quando o participante foi solicitado a escolher o som mais confortável, observa-se pela Tabela 5.60 que a ordem que incluiu som C como o primeiro, ou seja, mais confortável, seguido do B e do A. Outra possibilidade que também se evidencia, com menor frequência, é a BCA em que o som A também foi percebido como menos confortável. Com a Figura 5.57 é possível uma melhor visualização dessa constatação.

Tabela 5.60 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para o conforto.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	1	1,7
ACB	1	1,7
BAC	3	5
BCA	15	25
CAB	3	5
CBA	37	61,7
Total	60	100

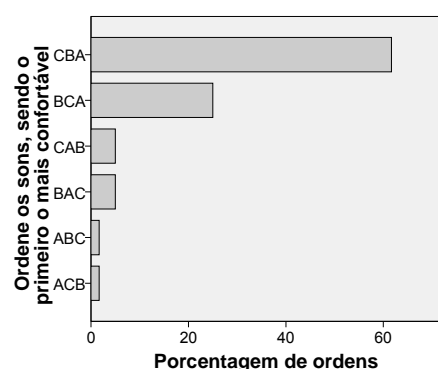


Figura 5.57 Porcentagem das ordenações dos sons para o conforto.

Observa-se comportamento semelhante quando o participante foi solicitado a escolher o som mais aceitável, agradável, estável e suportável. Observa-se pelas Tabelas 5.61, 5.62, 5.63 e 5.64 a maior frequência de escolhas com a ordem CBA. Com as Figuras 5.58, 5.59, 5.60 e 5.61 é possível uma melhor visualização dessa constatação.

Tabela 5.61 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a aceitabilidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	1	1,7
ACB	1	1,7
BAC	3	5
BCA	10	16,7
CAB	3	5
CBA	42	70
Total	60	100

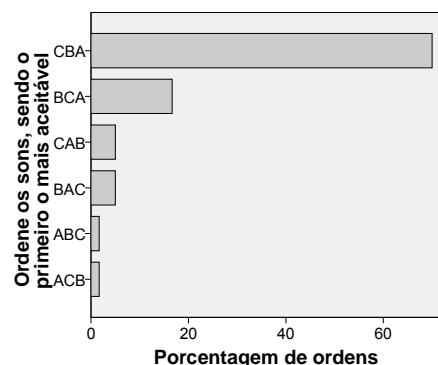


Figura 5.58 Porcentagem das ordenações dos sons para a aceitabilidade.

Tabela 5.62 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a agradabilidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	2	3,3
ACB	3	5
BAC	1	1,7
BCA	12	20
CAB	4	6,7
CBA	38	63,3
Total	60	100

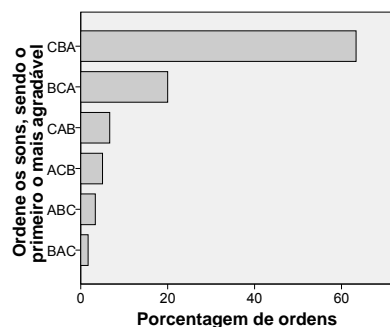


Figura 5.59 Porcentagem das ordenações dos sons para a agradabilidade.

Tabela 5.63 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a estabilidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	0	0
ACB	2	3,3
BAC	2	3,3
BCA	7	11,7
CAB	6	10
CBA	43	71,7
Total	60	100

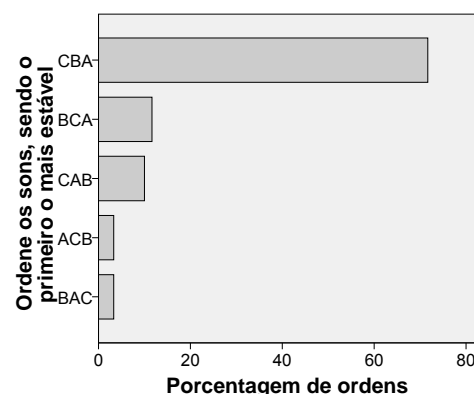


Figura 5.60 Porcentagem das ordenações dos sons para a estabilidade.

Tabela 5.64 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	0	0
ACB	2	3,3
BAC	5	8,3
BCA	11	18,3
CAB	4	6,7
CBA	38	63,3
Total	60	100

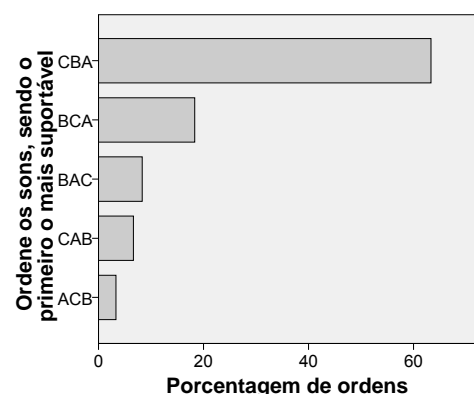


Figura 5.61 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidade.

Por outro lado, observa-se comportamento oposto quando o participante foi solicitado a escolher o som mais irritante e perturbador. Observa-se pelas Tabelas 5.65 e 5.66 a maior

frequência de escolhas com a ordem ABC seguida de BAC. Pode-se concluir que o som C foi o escolhido como menos irritante e perturbador. Por meio das Figuras 5.62 e 5.63 é possível uma melhor visualização dessa constatação.

Tabela 5.65 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a irritabilidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	39	65
ACB	4	6,7
BAC	11	18,3
BCA	3	5
CAB	2	3,3
CBA	1	1,7
Total	60	100

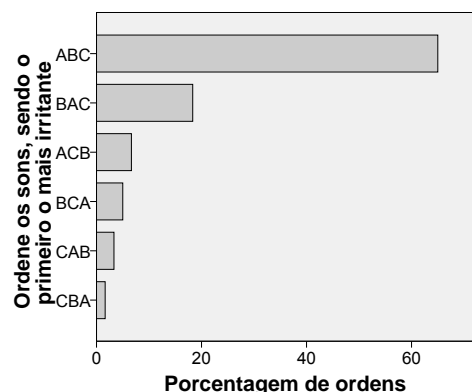


Figura 5.62 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidade.

Tabela 5.66 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a perturbação.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	36	60
ACB	4	6,7
BAC	13	21,7
BCA	4	6,7
CAB	2	3,3
CBA	1	1,7
Total	60	100

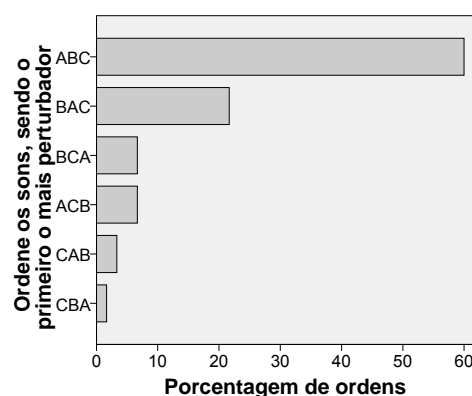


Figura 5.63 Porcentagem das ordenações dos sons para a suportabilidade.

Para ordenar os sons com o atributo intensidade, os participantes dividiram as opiniões, em que dois grandes grupos ordenaram o som A sendo o primeiro mais intenso e o outro grupo sendo o som B o primeiro mais intenso. Ambos os grupos ordenaram o som C em terceira posição, refletindo assim a percepção deste som como o menos intenso. Estes resultados estão apresentados na Tabela 5.67 e podem ser melhor visualizados na Figura 5.64.

Tabela 5.67 Frequência e porcentagem das ordenações dos sons para a intensidade.

Possibilidades	Frequência (N)	Porcentagem (%)
ABC	20	33,3
ACB	4	6,7
BAC	25	41,7
BCA	3	5
CAB	3	5
CBA	5	8,3
Total	60	100

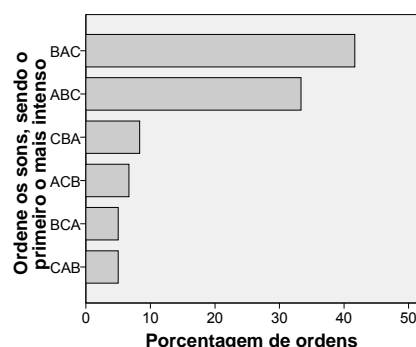


Figura 5.64 Porcentagem das ordenações dos sons para a intensidade.

5.7.2 Conclusão do Ordenamento

A avaliação dos sons por meio do ordenamento apresenta dependência nos postos, uma vez que a análise não deve considerar somente um posto por vez, por exemplo, o som C foi avaliado “n” vezes em primeiro lugar, ou em último lugar. Considerando que as escolhas estão associadas, deve-se observar o conjunto das respostas.

Por meio dessa avaliação pode-se concluir que existem dois grupos de avaliação que se destacam, sendo que a maioria ordena os sons por conforto com a ordem CBA, confirmando as avaliações feitas por números, escala e pares anteriormente.

5.8 Informações adicionais

Um dos parâmetros controlados pelo software é o tempo que cada participante levou para avaliar os sons por cada um dos métodos e o tempo total. Observa-se na Figura 5.65 que os participantes tiveram comportamento similar em todos os métodos, sendo que para o DS observa-se a menor variação de tempo.

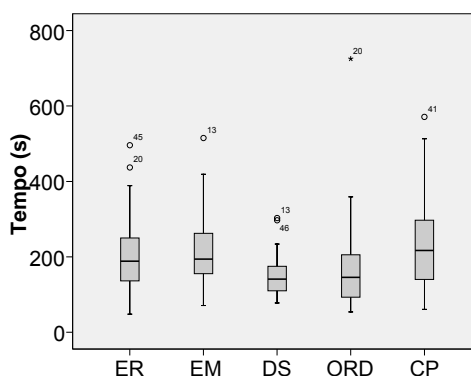


Figura 5.65 Diagrama em caixa comparativo do tempo de avaliação para cada método.

Ao finalizar a avaliação dos sons com todos os métodos, foi questionado aos participantes o método de preferência. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.68.

Observa-se que o método preferido foi a CP seguida do DS. Essa diferença de preferência pode ser visualizada na Figura 5.66. Fato interessante de ser constatado, foi que dos 8 que preferiram a ER, 6 justificaram que isso se deve ao fato deste método permitir que dois ou mais estímulos possam ser igualmente avaliados.

Tabela 5.68 Frequência e Porcentagem de preferência por método.

Método de preferência	Frequência (N)	Porcentagem (%)
CP	23	38,3
ORD	8	13,3
DS	15	25
EM	6	10
ER	8	13,3
Total	60	100

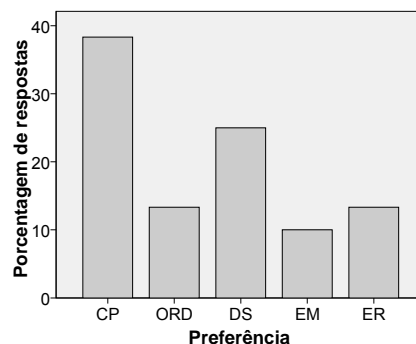


Figura 5.66 Porcentagem da preferência por método

5.9 Características psicoacústicas dos sons e avaliações subjetivas

Uma das possibilidades para abordar o conforto acústico no interior de aeronaves é estudar a relação entre as características psicoacústicas dos sons e as avaliações subjetivas. Para isso, são escolhidos sons, analisados e calculados os parâmetros psicoacústicos, geralmente com auxílio de um software, e com esses sons são programados ensaios subjetivos para futura correlação entre os dados objetivos e subjetivos.

Neste item, as avaliações subjetivas feitas por meio dos cinco métodos e descritas anteriormente nesse capítulo serão relacionadas com as características psicoacústicas dos sons, com o objetivo de identificar quais características dos sons estão relacionadas com a percepção do conforto acústico no interior de aeronaves.

5.9.1 Escolha e análise dos sons

A escolha dos três sons, como já explicado foi baseada na escolha de sons diferentes o suficiente para possibilitar a avaliação com todos os cinco métodos.

Para a análise objetiva dos sons, ou seja, para o cálculo das características psicoacústicas, foi utilizado o software Artemis 8.0 da HEAD-acoustic.

Apesar do grande número de modelos físicos e psicoacústicos disponíveis, considerando os modelos descritos no Capítulo 2 ter-se-iam aproximadamente 130 parâmetros possíveis, nem todos estes são adequados para quantificar impressões

auditivas relacionadas a ruídos provenientes do interior de aeronaves ou são relacionadas entre si de tal forma que alguns deles possam ser desconsiderados (Paul, 2009).

Com isso, os parâmetros escolhidos foram *Sharpness*, Tonalidade, Intensidade de Flutuação, *Roughness* e *Loudness* e foram calculados para os sons por meio dos algoritmos implementados no software. Para o cálculo de *Sharpness* e Tonalidade foram utilizados os modelos de Aures, 1985. Para o modelo de Intensidade de Flutuação, o modelo de Fastl (Fastl e Zwicker, 2007), para *Loudness* o modelo de Zwicker (Fastl e Zwicker, 2007) e para *Roughness* o modelo de audição proposto por Sottek (1992). Os sons apresentam 10 segundos cada e as análises foram feitas para a média dos sinais dos canais da direita e da esquerda.

5.9.2 Cálculo dos Modelos Psicoacústicos

Os resultados dos modelos calculados por meio do software estão apresentados na Tabela 5.69. Observa-se, inicialmente, que o *Loudness*, relacionado com a percepção do volume do som apresenta valores próximos entre os três sons. O som A apresenta os maiores valores para Intensidade de Flutuação, *Sharpness* e Tonalidade. O som B apresenta maior *Loudness*, menor Intensidade de Flutuação e *Roughness*. O som C apresenta baixo valor para tonalidade e intensidade de flutuação.

Tabela 5.69 Valores calculados para os modelos de *Fluctuation Strenght* (Intensidade de Flutuação), *Loudness*, *Roughness*, *Sharpness* (Agudeza) e Tonalidade com o software Artemis.

Sons	Intensidade de Flutuação [vacil]	Loudness [soneGD]	Roughness [asper]	Sharpness [acum]	Tonalidade [tu]
A	0,029	39,5	0,07	1,755	0,14
B	0,005	41,5	0,06	1,605	0,09
C	0,006	40,25	0,07	1,685	0,02

5.9.3 Correlação dos Modelos Psicoacústicos e os resultados subjetivos

Para observar a relação entre os modelos psicoacústicos e as avaliações feitas para os sons A, B e C foi processada a Análise em Componentes Principais (um tipo de análise Fatorial) que possibilita a representação gráfica da matriz de correlações (Apêndice 9). A Figura 5.67 permite visualizar as correlações dos atributos entre si e dos atributos com os fatores bem como as correlações dos modelos psicoacústicos entre si e com os fatores. As

avaliações representam-se por vetores (setas). Uma seta representa as avaliações dadas por todos os participantes a todos os sons em um atributo específico. Por exemplo, uma dessas setas representa as avaliações de todos os participantes dadas aos sons A, B e C para o atributo conforto. Dois atributos (setas) que formam um ângulo pequeno têm alta correlação, quer dizer que os valores das avaliações dadas nesses dois atributos são concordantes. Dois atributos que formam um ângulo reto são independentes, quer dizer que os valores das avaliações dadas nesses dois atributos não têm relação. Observa-se que quanto maior a avaliação para o conforto, menor a tonalidade e a flutuação.

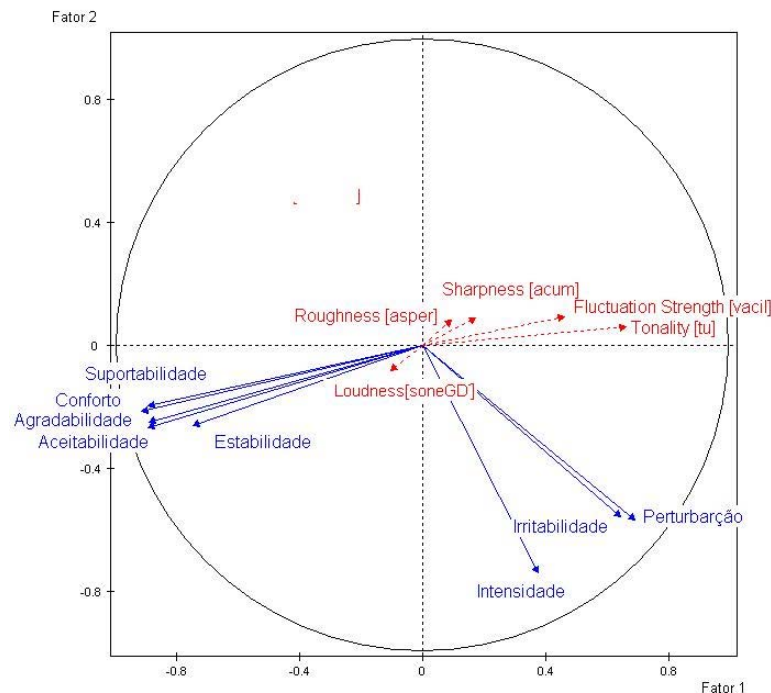


Figura 5.67 Projeção das medidas objetivas e subjetivas do som, obtidas com a ER, no primeiro plano fatorial

É possível verificar que os modelos de *Loudness*, *Roughness* e *Sharpness* estão pouco correlacionados uma vez que a seta é pequena. O modelo de tonalidade é o que parece representar melhor a relação entre os atributos subjetivos do grupo do conforto, suportabilidade, agradabilidade, aceitabilidade e estabilidade. O modelo de Flutuação também apresenta relação interessante com os demais.

Nota-se, com os resultados do estudo dos métodos, que o som pior avaliado foi o som com menor *Loudness*. Nesse caso, é válido mencionar que, apesar do menor valor de *Loudness*, possivelmente a percepção da flutuação e da tonalidade tenham sido mais consideradas quando o som C foi avaliado além do que a tonalidade pode ser percebida como maior volume.

Observa-se semelhança nas correlações obtidas entre as avaliações subjetivas com os métodos da ER e EM e os modelos psicoacústicos calculados. Essa semelhança pode ser visualizada por meio da Figura 5.68.

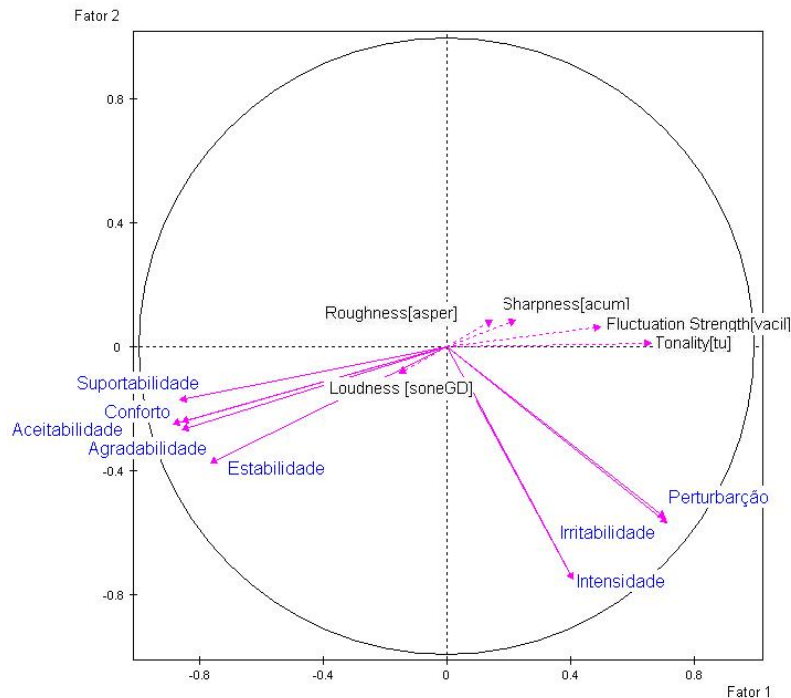


Figura 5.68 Projeção das medidas objetivas e subjetivas do som, obtidas com a EM, no primeiro plano fatorial

Os mesmos comentários feitos para a correlação entre as avaliações subjetivas com a ER e os modelos psicoacústicos são válidos para as avaliações feitas com a EM.

A correlação dos modelos psicoacústicos com as avaliações subjetivas somente é possível por meio dos métodos de natureza numérica, uma vez que não se correlacionam dados de naturezas diferentes.

Quando se observa a Tabela 5.70, a qual apresenta os valores de correlação entre os modelos psicoacústicos e os fatores da Análise de Correspondências Múltiplas feita para os dados qualitativos do DS, podem ser observados que, apesar de os dados do DS serem dados qualitativos, as maiores correlações são para Tonalidade e Flutuação no primeiro fator.

Tabela 5.70 Correlação dos modelos psicoacústicos com os Fatores da Análise de Correspondências Múltiplas do DS.

Modelos Psicoacústicos	Fator 1	Fator 2
Fluctuation Strength [vacil]	0,45	0,19
Loudness [soneGD]	-0,14	-0,25
Roughness [asper]	0,13	0,25
Sharpness [acum]	0,20	0,25
Tonality [tu]	0,60	0,03

5.9.4 Conclusões

É interessante observar as características psicoacústicas do som, para tentar justificar as escolhas dos participantes quando utilizaram os diferentes métodos. Todavia, ressalta-se que, em função do desenho metodológico, onde se concentrou na abordagem do desempenho de cada um dos métodos, a utilização de três sons é insuficiente para estimar com propriedade a correlação entre essas características e as avaliações subjetivas.

Ressalta-se como vantagem dos métodos que originam dados de natureza numérica, a possibilidade de correlacionar os dados subjetivos com os modelos, sem que haja inconsistência metodológica.

5.10 Conclusão do estudo dos métodos

Comparando os resultados dos métodos pôde-se observar que houve consistência, ainda que as avaliações subjetivas sejam complexas e o comportamento humano não siga uma tendência. Metodologicamente, o estudo viabilizou o máximo aproveitamento de cada método, uma vez que o número de sons e de itens foi reduzido e foi desenvolvida uma interface para avaliação.

Comparando a preferência dos participantes, a CP foi o método mais preferido e ao mesmo tempo o método que apresentou maior tempo de execução. O segundo método preferido foi o DS, onde se constata a menor média de tempo na execução. Observou-se boa compreensão e utilização das escalas em todos os métodos, excetuando para o atributo estabilidade, no DS, onde houve inversão da escala, o que significa dizer que poderia ser reduzido o número de modalidades (pontos nas escalas).

Atenção deve ser dada à escolha da população. Sujeitos leigos apresentam menor tolerabilidade ao número de sons do que especialistas. Sabe-se que esta restrição do número de sons é uma problemática. Sugere-se, quando existe a necessidade de se avaliar número maior de estímulos, programar os ensaios para dias diferentes, com os mesmos sujeitos, mesmo que em dias diferentes a percepção possa ser influenciada por outros fatores. É melhor escolher entre a fidedignidade dos dados do que obter dados com

descontrole metodológico e não poder resumir ou generalizar conclusões em cima deles depois

Considerando a análise dos resultados, observa-se que os métodos que resultam dados de natureza numérica carregam algumas vantagens, sendo a principal a possibilidade de relacionar diretamente aos modelos psicoacústicos. Na ER, o fato de as pessoas terem avaliado o som por meio de valores reais, com uma casa decimal quando necessário, configura maior sensibilidade nos dados.

Ao comparar as possibilidades de análise dos dados entre a CP e o Ordenamento, a CP demonstra maior propriedade uma vez que resulta em postos independentes entre si, apesar da possibilidade da transitividade. A CP também possibilita comparação de maior número de sons quando comparada com o Ordenamento. Ambos os métodos, os quais geram dados de natureza ordinal, forçam o participante a se posicionar¹⁸. Ora forçam o sujeito a escolher um som mais confortável, onde, segundo comentários dos participantes, nenhum som é confortável, ora forçam a ordenar sons que as vezes são percebidos com a mesma magnitude. Todavia, a avaliação dos sons por meio do Ordenamento apresenta dependência nos postos, uma vez que a análise não deve considerar somente um posto por vez (como é feita na CP), por exemplo, o som C foi avaliado “n” vezes em primeiro lugar, ou em último lugar. Considerando que as escolhas estão associadas, deve-se observar o conjunto das respostas.

Nos métodos numéricos (ER e EM), por meio da análise estatística, sugeriu-se que a avaliação com apenas um atributo, do grupo do conforto, seria suficiente para representar as avaliações feitas aos sons por meio desses métodos. Já no DS, a análise fatorial sugere a redução para cinco itens. Quando utilizado o ordenamento e a CP, já se devem ter estudado os itens, uma vez que a análise para esses métodos não viabiliza redução de itens.

¹⁸ Referido na literatura por “*forced choice methods*” ou métodos de escolha forçada.

Capítulo 6: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O estudo da semântica revelou muitos adjetivos, a maioria caracterizada pelas respostas emocionais estimuladas pelo ruído no interior do avião. O fato de esses descritores estarem atrelados a sentimentos provoca a dispersão dos dados, uma vez que cada pessoa interpreta e avalia de maneira diferente.

Para este estudo, a implementação do software com interfaces de avaliação de sons representou um avanço no que diz respeito à qualidade e ao rigor metodológico no emprego de métodos subjetivos para avaliação de fenômenos acústicos. A interface possibilitou a coleta de dados em formato eletrônico, de forma rápida e controlada.

Verificando o desempenho dos métodos, observa-se que em geral as pessoas perceberam diferença entre os três sons, houve compreensão do uso das escalas, as quais foram utilizadas em sua totalidade em todos os métodos.

Conforme os resultados da Análise de Componentes principais, para avaliar o conforto por meio dos métodos numéricos (ER e EM), seria suficiente utilizar apenas o atributo do conforto, escolhido entre os demais. Por outro lado, no DS, os itens poderiam ser reduzidos a cinco.

O fato de a CP apresentar os estímulos aos pares facilita o julgamento pelos ouvintes, em que a complexidade da tarefa é reduzida, uma vez que o ser humano está acostumado a fazer escolhas pareadas no dia a dia. Fato constatado quando os participantes preferiram este método dentre os demais. Conclui-se que a escolha de um método deve ser decidida em função do objetivo do estudo.

Os modelos psicoacústicos são úteis para a caracterização do ambiente sonoro e da percepção dos mesmos, mas não são suficientemente precisos nem abrangentes para todo tipo de fenômeno. É interessante observar as características psicoacústicas do som, para tentar justificar as escolhas dos participantes quando utilizaram os diferentes métodos. Todavia, ressalta-se que, em função do desenho metodológico, onde se concentrou na abordagem do desempenho de cada um dos métodos, a utilização de três sons é insuficiente para estimar com propriedade as correlações entre essas características e as avaliações subjetivas. Ressalta-se, como vantagem dos métodos que originam dados de

natureza numérica, a possibilidade de correlacionar os dados subjetivos com os modelos, sem que ocorra inconsistência metodológica.

Sugere-se, para trabalhos futuros:

- Considerando que a audição humana é um sistema variante no tempo, especialmente em função da adaptação fisiológica ao volume do som, sugere-se um estudo aprofundado acerca da ambientação necessária para produzir dados confiáveis de avaliação subjetiva do som;

- Avaliar o desempenho da EM sem limitação da escala;

- Estudo da relação entre o número de estímulos e a consistência dos dados produzidos em cada método;

- Utilização da mesma metodologia, aplicando cada método em um dia diferente para posterior comparação dos resultados.

Referências

- [1] ABERGO - A certificação do ergonomista brasileiro - Editorial do Boletim 1/2000, Associação Brasileira de Ergonomia, 2000.
- [2] Akeroyd, Michael A.; The psychoacoustics of binaural hearing. *Internacional Journal of Audiology* , 45 (Supplement 1) 2006.
- [3] Alonso, M.; Finn, E. Física: um curso universitário. v.II. Campos e ondas. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 565 p.
- [4] Andrade, A.L. Construção de uma medida psicométrica para avaliar fenômenos vibro-acústicos no interior de aeronaves. Dissertação de Mestrado. UFSC. 2007.
- [5] Aures, W. Berechnungsverfahren der Auhigkeit. *Acustica*, 58:268–281, 1985.
- [6] Baker, S.; Jennings, P.; Dunne, G.; Williams, R. Improving the effectiveness of paired comparison tests for automotive sound quality. In: *Anais do 11th Internacional congress in Sound and vibration*, St. Petersburg, Russia, 2004.
- [7] Bitencourt, R.F; Paul, S.; Andrade, A.L ; Gerges, S.N.Y. Relevância dos aspectos vibro-acústicos no conforto no interior de aeronaves. In: *Anais do I Simpósio de Acústica de Salas, Edificações e Escolas SIBRASE e XXI - Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC*, São Paulo, 2006.
- [8] Björk, E.A. The perceived quality of natural sounds. *Acustica*, 57:185 – 188, 1985.
- [9] Blauert, J.; Jekosch, U. Sound Qualit Evaluation- A Multi-layered Problem. *Acustica Acta acústica*, 83: 747-753, 1997.
- [10] Blauert, J.(ed.): *Communication acoustics*, Springer, Berlin Heidelberg, 2005.
- [11] Bodden, M.: Instrumentation for Sound Quality Evaluation, *Acustica-Acta Acustica*, Vol.83:775-783, 1997.
- [12] Bowen, D.L; Lyon, R. Mapping perceptual attributes of sound to product design choices. *Noise Control Eng. J.* 51:271-279, 2003.
- [13] Box, G.E.P; Hunter, W.G; Hunter, J.S. Estadística para Investigadores. *Introducción AL diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos*. Editorial reverté, España, 1989.
- [14] Brace,I. Questionnaire design: how to plan, structure and write survey material for effective market research. CIP, 2004.
- [15] Bucak, Tino,. On aircraft interior noise. *Proceedings of the 3rd Congress of the Alps Adria Acoustics Association / Fellner, Maria ; Graf, Franz (ed).* - Graz: Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Austria, 2007.

- [16] Buss, S; Schulte-Fortkamp, B; Muckel, P. Combining methods to evaluate sound quality. Disponível em: [\[http://www.physik.uni-oldenburg.de/docs/aku/staff/sandrab/buss_in2000.pdf\]](http://www.physik.uni-oldenburg.de/docs/aku/staff/sandrab/buss_in2000.pdf). Acessado em 05/03/2007.
- [17] Carhart, R. - Clinical Determination of Ab normal Auditory Adaptation, Archives of Otolaryngology, vol. 65, 1957.
- [18] Carterette, E.C. Loudness Adaptation for Bands of Noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 28:865-871, 1956.
- [19] Champagne, A. J.; Amman, S. A. Vehicle Closure Sound Quality. In: Noise & Vibration Conference & Exposition, 1995, Traverse City, MI, USA. Proceedings of the 1995 Noise and Vibration Conference, 951370, 1995.
- [20] Civile, G.V; Seltsam J. Sensory evaluation methods applied to sound quality. Noise Control Engineering Journal, 51(4):262–270, 2003.
- [21] Colburn, H.S. Binaural Hearing Mechanisms. In Proceedings of the 2008 Internoise, Shanghai, October 2008.
- [22] D'Ishia, M.; Paonessa, A.; Bridisi, A. Noise annoyance in civil aircraft cabins: analysis of an ann-based evaluation model. First European Forum on Efficient Solutions for managing occupational noise risks. Noise at work, July, 2007.
- [23] Dubois, D.; Guastavino, C. In Search for soundscape indicators: Physical descriptions of semantic categories. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [24] Dubois, D; Guastavino, C. and Raimbault, M. A cognitive approach to urban soundscapes: Using verbal data to access everyday life auditory categories. Acustica Acta Acustica, 92(6):865–874, 2006.
- [25] Escofier, B.; Pagès, J. Analyses factorielles simples et multiples. Dunod, París, 1990.
- [26] Fastl, H.: The Psychoacoustics of Sound-Quality Evaluation, Acustica-Acta Acustica, Vol.83, 1997.
- [27] Fastl,H.; Zwicker,E.: Psychoacoustics-Facts and Models, 2nd updated ed., Springer, Berlin, 2007.
- [28] Ferreira, A.B.H. Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa.Rio de Janeiro,: Nova Fronteira, 1999.
- [29] Gelfand, S, A. Hearing- An Introduction to Psychological and Psychological Acoustc. Marcel Dekker Inc., New York Basel Hong Kong, 3rd edition, 1998.
- [30] Gerges, S.N.Y; Bitencourt, R.F, Sato, C. Dietrich, P.; Coelho, J.L B, Neves, M. Comparison of Interior Jet Aircraft Noise using Sound Quality Parameters. Society of Automotive Engineers, 2008.
- [31] Genuit, K. Soudscape design – Acoustical Challenge. 1992.
- [32] Genuit, K.. Psychoacoustics – importance and application practice. Forum Acousticum Sevilla, 2002.
- [33] Guastavino,C. Étude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain. PhD thesis, Université Paris, Paris, France, 2003.

- [34] Guastavino, C. ; Dubois, D. From languages and concepts to acoustic: How do people cognitively process soundscapes? In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [35] Guildford, J.P. Psychometric Methods. McGraw-Hill, 1954.
- [36] Guski, R.: Psychological Methods for Evaluating Sound Quality and Assessing Acoustic Information, *Acustica-Acta Acustica*, Vol.83:765-774, 1997.
- [37] Günther, H.; Iglesias, F; Sousa, J.M. Note on the development of a brazilian version of a noise annoyance scale. *Journal of Sound and Vibration*, 308:343–347, 2007.
- [38] Hammershøi, D. e Møller, H. Binaural Technique – Basic Methods for recording, synthesis and reproduction. In: Blauert, J. *Communication Acoustics*. Springer, 2005.
- [39] Hashimoto, T.: Temporal Variation of Sound Quality under long-Term Exposure of Car Interior Noise and Seat-Floor Vibration, *Proc. of Forum Acusticum 2002*, Sevilla, Spain, 2002
- [40] Hastings, A., e cols. Measurement of the attributes of complex tonal components commonly found in product sound. *Noise Control Engineering Journal*, Volume 51, Number 4, p. 195-209, 2003.
- [41] Heinrichs, R.; Bodden, M. Perceptual and instrumental description of the gear rattle phenomenon for diesel vehicles. In: Sixth International Congress on Sound and Vibration, 5-8 July, Copenhagen, Denmark, 1999.
- [42] Hellman, R.; Miskiewicz, A; Scharf, B. Loudness adaptation and excitation. *J. Acoust. Soc. Am.* 101 (4), April 1997.
- [43] Hood, J. D. Studies in auditory fatigue and adaptation. *Acta Otolaryngol*, Suppl 92, 1950.
- [44] Hooke, R. (ed.): *Civil aerospace in the 21st century*, Price Waterhouse Coopers, 2006.
- [45] Janssens, K.; Van de Ponsele, P; Vecchio, A.; Van der Auweraer. A sound design approach for vehicles and aircrafts. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [46] Job, R.F.S. Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *Journal of the Acoustic Society of America.*, 83, 1998.
- [47] Leatherwood, J.D.; Clevenson, S.A.; Stephens, D.G.; The development of interior noise and vibration criteria. Technical report, NASA Langley Research Center, 1990.
- [48] Leite. R. P. Estudo do ruído do sistema de ventilação automobilística. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- [49] Leite, R. P; Paul, S. Qualidade Sonora: conceitos básicos ilustrados com um exemplo na área automotiva. *Acústica e Vibrações*, 37, 28-37, 2006.
- [50] Levitt, H. Transformed up-down methods in psychoacoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 49, 467-477, 1971.
- [51] Lima, F.R. Qualidade Sonora – Conceitos Básicos. In: Gerges, S. N. Y. (Org). *Ruídos e Vibrações Veiculares*. Florianópolis: Editora NR, 2005.

- [52] Lima, F.R; Gerges, S.N.Y. Capacitação Técnica. Relatório Técnico. Módulo Qualidade Sonora, Volume 4, UFSC, 2005.
- [53] Lebart, L; Morineau, A; Piron, M. Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, Paris, 1997.
- [54] Martens, W.L; Giragama, C.N.W. Relating multilingual semantic scales to a common timbre space. AES 113th Convention, Los Angeles, USA, 2002.
- [55] Mellert, V; Baumann I.; Bellman, S.; Buss, S.; Freese, Kruse, R.; Weber, R. Vibroacoustic and other environmental influences on performance and well-being of cabin crew during long-haul flights. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [56] Mellert, V; Baumann I.; Freese, N; Weber, R. Impact of sound and vibration on health, travel comfort and performance of flight attendants and pilots. In: Aerospace, Science and Technology, vol 12, 2008.
- [57] Montgomery, D. C.; Runger, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. Tradução de Verônica Calado. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC–Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 463 p. Título original: Applied Statistics and Probability for Engineers, 2003.
- [58] Moore, B. C. J. An Introduction to the psychology of hearing. London: Academic Press, 1982.
- [59] Müller, U. Schütte, M. Sound Engineering for aircraft (SEFA), first results of listening examination. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [60] NIOSH. Criteria for a Recommended Standard. Occupational Noise Exposure. Revised Criteria, Centers for Disease Control, Estados Unidos, 1998.
- [61] Nunnally, J.C. Psychometric Theory. McGraw-Hill, Inc., 1978.
- [62] Osborne, D.J; Clarke, M.J. The development of questionnaire surveys for the investigation of passenger comfort. Ergonomics, 16(6):855–869, 1973.
- [63] Osgood, C.E; Suci, G.J.; Tannenbaum, P.H. The measurement of meaning. The University of Illinois Press, Urbana, Chicago and London, 1975.
- [64] Otto, N; Amman, S; Eaton, C; Lake, S. Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds, Sound and Vibration, 2001.
- [65] Pasquali, L. Psicometria: teoria e Aplicações. Editora UNB, 1997.
- [66] Paul, S: A First Exploration of Auditory Descriptors for Brazilian Portuguese, Proc. of Internoise 2005, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- [67] Paul, S.; Bitencourt, R..F; Gerges, S.N.Y; Andrade, A. Cruz, R. Developing psychometric instruments for evaluation of sound quality: Why and how to explore attributes and semantics related to sound and sound quality. In: Proceedings of SAE, Noise and Vibration Conference, Brazil, 2008.
- [68] Paul, S. Avaliação e melhoria de qualidade sonora em aeronaves comerciais. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [69] Pineau, C. The psychological meaning of comfort. International review of psychology, 33, 1982.

- [70] Powell, C.A.; Fields, J.M. Human response to aircraft noise. In: Hubbard, H.H. Aeroacoustics of flight vehicles. Theory and Practice. Acoustical Society of America. Volume 2: Noise Control, 1995.
- [71] Quehl, J.: Comfort studies on aircraft interior sound and vibration, Doct. Thesis, Universidade de Oldenburg, Alemanha, 2001
- [72] Ribeiro, Y.A ; Leite, R.P. Bitencourt, R.F. ; Gerges, S.N.Y. Uma abordagem do ruído de janelas elétricas através dos conceitos da qualidade sonora. In: Anais do I - Simpósio de Acústica de Salas, Edificações e Escolas SIBRASE e XXI - Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, São Paulo, 2006.
- [73] Richards, L.G ; Jacobson, I.D.; Ride Quality Evaluation 1. Questionnaire Studies of Airline Passenger Comfort Ergonomics, Volume 18, Issue 2 March 1975.
- [74] Roederer, J. G. (1998). Introdução à física e psicofísica da música. São Paulo: Edusp
- [75] Rohrmann, B. Verbal qualifiers for rating scales: Sociolinguistic considerations and psychometric data. Project Report. University of Melbourne, Australia, 2003.
- [76] Schulte-Forkamp, B.: The evaluation process of sound and vibration – integrating interdisciplinary concepts, Noise Control. Eng. J., 51: 239-243 (4), 2003.
- [77] Sottek, R. Modelle zur Signalverarbeitung im menschlichen Gehör. Dissertação de Mestrado, RWTA- Achen, 1992.
- [78] Sundback, U.; Tingvall, B. Investigation of the physical working environment for cabin attendants within Scandinavian Airlines System (SAS). Noise Control Engineering Journal, Proc. Internoise 1980, v. 1, p. 341–344, 1980.
- [79] Suter. A.H. Hearing Conservation Manual. Milwaukee: CAOHC Executive Officer, 2002.
- [80] Stevens, S. S. On the psychophysical law. Psychological Review 64(3):153–18, 1957.
- [81] Trimmel, M. Experienced comfort and physiological response of flight attendants in long-haul flights. Proc. of the 6th Internacional Conference on Psychophysiology in Ergonomics: PIE 2006, 2006.
- [82] Trimmel, M.; Groll-Knapp, E.; Goger, C.; Impact of environmental conditions on comfort, motivation, task load, physiological activity, health and performance in flight attendants. In : Proceedings of the UOEH: Comfort in the Workplace, Kitakyushu, Japan, 2005.
- [83] Thurstone, L.L.. The Measurement of Values. Chicago: The University of Chicago Press., 1959.
- [84] Vallet, M. The effects of non acoustic factors on annoyance due to traffic noise. Proceeings of the internacional Symposium on Enviromental Annoyance at the Conference Centre Winshoten. Amsterdã, 1987.
- [85] Västfjäll, D. Gulbol, M.; Kleiner, M. “ Wow, what car is that?” : Perception of exterior vehicle sound quality. Noise Control Eng. J. 51:253-261, 2003 (a).
- [86] Västfjäll, D.;Gulbol, M; Gärling, T. Affective evaluations and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality. Journal of Sound and Vibration, 255(3):501–518, 2002.
- [87] Västfjäll,D.; Kleiner, M.; Gärling, T. Affective reactions to interior aircraft sounds. Acustica Acta Acustica, 89:693–701, 2003 (b).

- [88] Vörlander, M Auralization. Springer: Berlin, Germany, 2007.
- [89] Yu, C.; Kang, J. Effects of cultural factors on the environmental noise evaluation. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [90] Weber, R.; Baumann, I.; Freese, N.; Buss, S. König, C; Mellert, V. Effects of noise on the comfort of cabin crew studied in an aircraft cabin simulator. Anais do 33rd Internacional Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Praga, República Checa, 2004.
- [91] Wisner, A. Por dentro do Trabalho. Ergonomia: método & técnica. São Paulo, Ed FTD, 1987.
- [92] Zeitler, A.; Hellbrück, J.; Ellermeier, W.; Fastl, H., Thoma, G; Zeller, P. Methodological approaches to investigate the effect of meaning, expectations and context in listening experiments. In: Anais do Internoise 2006, Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 2006.
- [93] Zwicker, E.; Feldtkeller. The Ear as a communication receiver. American Institute of Physics, 1999.

Apêndices

Apêndice 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS
PARECER CONSUBSTANCIADO - PROJETO Nº 352/06

I – IDENTIFICAÇÃO

Título do projeto: “Construção de medidas psicométricas para avaliar fenômenos vibro-acústicos no interior de aeronaves”.

Área: Psicologia

Pesquisador Responsável: Roberto Moraes da Cruz e Alexandro Luiz de Andrade

Pesquisador Principal: Alexandro Luiz de Andrade, Stephan Paul, Raquel Fava Bitencourt

Data da coleta dos dados: 01/01/2007 a 30/04/2007.

Instituição em que será realizado o estudo: Entrevista com qualquer estudante universitário

II – Objetivos

Gerais: Desenvolver medidas psicométricas, válidas e fidedignas para contexto sociolinguístico do Brasil, visando à avaliação subjetiva das propriedades vibro-acústicas no interior de aeronaves comerciais.

Específicos: Criar um atlas de qualificadores (vocabulário de adjetivos) pertinentes para descrição de fenômenos acústicos e vibracionais; caracterizar os procedimentos metodológicos necessários à construção de medidas subjetivas de fenômenos vibro-acústicos; Verificar a estrutura de um diferencial para fenômenos de natureza acústica.

III – SUMÁRIO DO PROJETO: Trata-se de um estudo semi-experimental, dividido em duas etapas. Na primeira etapa será realizada uma coleta de descritores com 100 estudantes universitários que alguma vez andaram de avião. Eles serão dirigidos até um simulador acústico e descreverão com palavras as qualidades ou características do estímulo apresentado. Na segunda etapa com antônimos (outros 100 universitários) para definir as palavras mais relevantes do espaço semântico dos fenômenos acústicos levantados na primeira coleta. Será elaborado um instrumento para coleta dos antônimos que mais se adequar às palavras definidoras do fenômeno acústico. Na terceira etapa serão construídos questionários e escalas com a finalidade de avaliar tipos diferentes de sons.

IV – COMENTÁRIO: A pesquisa proposta tem relevância científica e social. O tema faz parte da linha de atuação dos pesquisadores. Os documentos exigidos pela legislação foram anexados. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) está adequado.

(X) aprovado

Parecer:

Tendo em vista o exposto, sou de parecer favorável a aprovação do projeto e do TCLE.

Informamos que o parecer dos relatores foi aprovado, em reunião deste Comitê na data de 18 de dezembro de 2006.

Prof. Washington Portela de Souza
Coordenador em Exercício da Comissão
de Ética em Pesquisa - PRPe/UFSC.

Fonte: CONEP/ANVS - Resoluções 196/96 e 251/97 do CNS.

Apêndice 2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Pesquisadores: Alexsandro Andrade, Raquel Bitencourt e Stephan Paul
e-mail: raquelfb@emc.ufsc.br

Questionário de pesquisa

Este questionário é parte integrante de uma pesquisa sobre qualidade sonora e conforto acústico. Gostaríamos de esclarecer que todas as questões dizem respeito à sua percepção: não há respostas certas ou erradas, a sua sinceridade é o que importa.

Sexo: () Masculino () Feminino	Idade:	Ocupação
Você trabalha com acústica? () Sim () Não.		

1. Você gosta de viajar de avião? Por quê?

2. Quantas vezes aproximadamente você já viajou de avião?

() 1 a 3; () 4 a 10; () Mais de 10.

3. Quantas vezes aproximadamente você viajou de avião nos últimos 12 meses? (_____)

4. Quando você viaja de avião, normalmente é:

() a trabalho

() a passeio

() outros: _____

5. Quais aspectos você avalia como “CONFORTÁVEIS” durante um voo?

6. Quais aspectos você avalia como “DESCONFORTÁVEIS” durante um voo?

7. Descreva-nos experiências “**POSITIVAS**” ou “**NEGATIVAS**”, você teve em situações de voo?

EXPERIÊNCIAS POSITIVAS

EXPERIÊNCIAS NEGATIVAS

PARTE 2

I. Quando você ouve ou pensa na palavra “**som**”, que palavras você usaria para descrevê-lo?

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

I. Quando você sente ou pensa na palavra “**vibração**”, que palavras você usaria para descrevê-la?

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

III. Nesse momento você vai ser submetido a uma simulação acústica de vôo, você vai ouvir uma gravação referente a três trechos de vôo em situação de normalidade: **decolagem, cruzeiro e pouso**, em uma aeronave comercial. Essa simulação tem a duração aproximada de 8 minutos.

1º Situação: Decolagem

I. Quando a viagem começar, descreva com palavras ou expressões curtas as características que você acha que esse “**SOM**” possui.

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

II. Qual a sua avaliação sobre o ruído produzido nessa situação de vôo?

2º Situação: Cruzeiro

I. Quando a viagem começar, descreva com palavras ou expressões curtas as características que você acha que esse “**SOM**” possui.

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

II. Qual a sua avaliação sobre o ruído produzido nessa situação de vôo?

3º Situação: Pouso

I. Quando a viagem começar, descreva com palavras ou expressões curtas as características que você acha que esse “**SOM**” possui.

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

II. Qual a sua avaliação sobre o ruído produzido nessa situação de voo?

Muito Obrigado pela sua participação.

Roteiro de Entrevista

Participante:___

1. Voltando a questão 1 de cada situação de pouso, ao lado de cada característica, escreva **+** caso a considere positiva, **-** caso a considere negativa e **N** se ela representar uma palavra neutra para você.

Finalmente, ao lado de cada palavra também, escreva **MI** se você a considera muito importante e **PI** se a considera pouco importante.

1. Você considera essa simulação próxima da situação real de vôo? Comente:

2. Você tem algum outro comentário adicional? Críticas, dificuldades, impressões, etc.

Apêndice 3

SITUAÇÃO DE VÔO

8. Nesse momento você vai ser submetido a uma simulação de vôo, onde vai ouvir uma gravação referente a três trechos de vôo em situação de normalidade: decolagem, cruzeiro e pouso. Essa simulação tem a duração aproximada de 8 minutos.

LISTE com palavras ou expressões **CURTAS** características que você acha que esses **SONS, RUÍDOS E VIBRAÇÕES** possuem.

1ª Situação: Decolagem			
SOM e RUÍDOS		VIBRAÇÕES	
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()

Após ouvir a gravação, qual a sua avaliação ou impressão sobre os **sons, ruídos e vibrações** produzidos nesse trecho?

2ª Situação: Cruzeiro (Vôo em altura fixa)			
SOM e RUÍDOS		VIBRAÇÕES	
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()

Após ouvir a gravação, qual a sua avaliação ou impressão sobre os **sons, ruídos e vibrações** produzidos nesse trecho?

3ª Situação: Pouso			
SOM E RUÍDOS		VIBRAÇÕES	
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()
()	()	()	()

Após ouvir a gravação, qual a sua avaliação ou impressão sobre os **sons, ruídos e vibrações** produzidos nesse trecho?

Caso você já tenha viajado de avião:

9. Você gosta de viajar de avião? Por quê?

10. Quando você viaja de avião, normalmente é:

() a trabalho

() a passeio

() outros: _____

11. Quantas vezes aproximadamente você já viajou de avião?

() 1 a 3; () 4 a 10; () Mais de 10.

12. Quantas vezes aproximadamente você viajou de avião nos últimos 12 meses? (_____)

13. Descreva-nos experiências “**POSITIVAS**” ou “**NEGATIVAS**” que você teve em situações de voo?

EXPERIÊNCIAS POSITIVAS	EXPERIÊNCIAS NEGATIVAS
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

14. Quais aspectos você avalia como CONFORTÁVEIS durante o voo?

15. Quais aspectos você avalia como DESCONFORTÁVEIS durante o voo?

ENTREVISTA

Entrevistador: _____ Perguntas a serem direcionados diretamente ao sujeito em *itálico*.

16. *Você teve alguma dificuldade em responder o questionário?*

17. *Existe algo que você queira esclarecer ou rever no seu questionário?*

18. Checando os itens de descrição

- investigar a descrição das expressões citadas pelo participante
- busque transformar expressões longas em adjetivos
- quando isso não for possível anotar entre (parêntesis) algum comentário explicativo do respondente, ex. "O que você quis dizer com a expressão X+ Y... Ou você consegue substituir a palavra "X", por algum adjetivo?

19. Avaliação dos descritores

- ao lado dos descritores sinalize com +, - ou N conforme manifestação do valor positivo, negativo ou neutro do descritor

20. *Se você já viajou de avião, você considera essa simulação próxima da situação real de vôo? Que aspectos aproximam a situação da realidade? Que aspectos dificultam a veracidade da simulação?*

21. *Você tem algum outro comentário adicional? Críticas, dificuldades, impressões, etc.*

22. Observações do Entrevistador:

Apêndice 4

**Primeiros descritores de som/ruído coletados por meio do primeiro questionário
aplicado para o cruzeiro**

	Frequency	Cumulative Percent
Ameno	1	,5
normal	1	1,1
abafado	2	2,1
aceitável	2	3,2
acostumado	1	3,7
agoniante	2	4,7
agradável	6	7,9
Agudo	1	8,4
alta frequencia	1	8,9
Alto	4	11,1
ambiente	1	11,6
amenos	1	12,1
Ansioso	1	12,6
apito chato	1	13,2
assobiante	1	13,7
Ativo	1	14,2
Baixo	10	19,5
Bom	2	20,5
Calmo	6	23,7
cansativo	2	24,7
Chato	3	26,3
Chiado	1	26,8
Cinza	1	27,4
confortável	5	30,0
constante	23	42,1
controlado	3	43,7
dependente	1	44,2
desagradável	3	45,8
desconfortável	4	47,9
desuniforme	1	48,4
enjoativa	1	48,9
envolvente	1	49,5
Estável	5	52,1
estralante	2	53,2
Extensor	2	54,2
Forte	2	55,3
Fraco	6	58,4
Grave	7	62,1
hipnotizante	1	62,6
imperceptível	1	63,2
incomodante	2	64,2
Leve	1	64,7
Liso	1	65,3
Médio	1	65,8
modulante	1	66,3
monotono	1	66,8
não-relaxante	1	67,4
não constante	1	67,9
não desconfortável	2	68,9
não incomodante	1	69,5
nível baixo	1	70,0
Normal	3	71,6
normalidade	1	72,1

Opaco	1	72,6
Pacifico	1	73,2
pertubador	1	73,7
Pesado	1	74,2
Poderia ser menor	1	74,7
pouca variação	1	75,3
profundo	1	75,8
relaxante	2	76,8
Rotina	1	77,4
silencioso	1	77,9
soniferos	1	78,4
sonolento	1	78,9
sons leves de grilo	1	79,5
Sopro	1	80,0
Suave	6	83,2
suportavel	1	83,7
Tenso	1	84,2
toleravel	2	85,3
tranquilo	18	94,7
Veloz	3	96,3
Ventoso	1	96,8
vibrante	4	98,9
Volume baixo	1	99,5
zumbido	1	100,0
Total	190	

Apêndice 5

Palavras a serem utilizadas – Discussão 16/05/2006
Som / Ruído

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1) Forte | Fraco |
| 2) Agudo | Grave |
| 3) Aceitável | Inaceitável |
| 4) Cômodo | Incômodo |
| 5) Confortável | Desconfortável |
| 6) Desagradável | Agradável |
| 7) Não constante – desuniforme | Constante – controlado – contínuo |
| 8) Apito- assobiante | Não assobiante |
| 9) Bom | |
| 10) Calmo | |
| 11) Suave | |
| 12) Tranquilo | |
| 13) Seguro – sensação de segurança | não seguro |
| 14) Tolerável | |
| 15) Barulhento | |

Vibração

- 1) Constante
- 2) Fraco
- 3) Reduzida
- 4) Seguro
- 5) Suave
- 6) Calmo
- 7) Ameno

Brainstorming 15/05/2006

Presença: Paulo Rogerio, Jordan, Gustavo Martins, Yuri, Ricardo, William, Julio, Marcelo, Raquel e Stephan

fino – grosso
afiado – encorpado
grave – agudo
abafado – aberto

alto – baixo
fraco – forte
silencioso – barulhento

sensação de fragilidade – sensação de segurança, forte, robustez
alarmante – não alarmante
intimidador – não intimidador
conhecido – desconhecido
tenso – relaxado
estalante – não estalante
opressor – tranqüilo (?)
agressivo – calmo (?)
agoniante – tranqüilizante

cansativo – não cansativo
sonolento – estimulante
monótono, rítmico, repetido

tonal – atonal
assobiante – não assobiante

zumbido – não zumbido

oscilante – parado
pulsante – contínuo
modulante – constante

chiante – não chiante

Apêndice 6



Questionário de pesquisa - A

Sexo: () Masculino () Feminino
Já viajou de avião: () Sim () Não

Idade: Ocupação/curso:
Nº de viagens no último ano

A seguir você encontra uma lista com diversos descritores, na maioria dos casos adjetivos, que são utilizados para descrever sons e vibrações em aeronaves em situações de voo. Primeiramente gostaríamos que, ao lado de cada uma das palavras, você colocasse o antônimo que você considera correspondente. Num segundo momento, gostaríamos que você avaliasse se foi fácil ou difícil para você achar o antônimo, colocando F (fácil) ou D (difícil).

Escolha o antônimo no qual você esteja pensando espontaneamente, anote apenas um antônimo por palavra apresentada, caso não lhe venha nenhum antônimo na cabeça deixe o espaço em branco.

descriptor	antônimo	() F () D	descriptor	antônimo	() F () D
violento		() F () D	chiante		() F () D
ameno		() F () D	simples		() F () D
amplificado		() F () D	claro		() F () D
anormal		() F () D	concentrado		() F () D
ansioso		() F () D	confiável		() F () D
solto		() F () D	confuso		() F () D
artificial		() F () D	conhecido		() F () D
áspero		() F () D	constante		() F () D
assobiante		() F () D	contínuo		() F () D
assustado		() F () D	crescente		() F () D
sonolento		() F () D	hipnotizante		() F () D
envolvente		() F () D	imperceptível		() F () D
equilibrado		() F () D	impertinente		() F () D
estalante		() F () D	inadequado		() F () D
estimulante		() F () D	incomodante		() F () D
estressante		() F () D	inconstante		() F () D
estridente		() F () D	indesejável		() F () D
excitante		() F () D	ininterrupto		() F () D
extenso		() F () D	instável		() F () D
externo		() F () D	insuportável		() F () D
limpo		() F () D	pacífico		() F () D
liso		() F () D	parado		() F () D
localizado		() F () D	perceptível		() F () D
maléfico		() F () D	perigoso		() F () D
mecânico		() F () D	permanente		() F () D
médio		() F () D	persistente		() F () D
menor		() F () D	pertinente		() F () D
misturado		() F () D	perturbador		() F () D
moderado		() F () D	pesado		() F () D
modulante		() F () D	potente		() F () D
tranquilo		() F () D	robusto		() F () D
tremido		() F () D	rotineiro		() F () D
triste		() F () D	ruidoso		() F () D
variável		() F () D	seco		() F () D
veloz		() F () D	seguro		() F () D
silencioso		() F () D	sibilante		() F () D
vibrante		() F () D			



Questionário de pesquisa - B

Sexo: () Masculino () Feminino
Já viajou de avião: () Sim () Não

Idade: Ocupação/curso:
Nº de viagens no último ano

A seguir você encontra uma lista com diversos descritores, na maioria dos casos adjetivos, que são utilizados para descrever sons e vibrações em aeronaves em situações de voo. Primeiramente gostaríamos que, ao lado de cada uma das palavras, você colocasse o antônimo que você considera correspondente. Num segundo momento, gostaríamos que você avaliasse se foi fácil ou difícil para você achar o antônimo, colocando F (fácil) ou D (difícil)

Escolha o antônimo no qual você esteja pensando espontaneamente, anote apenas um antônimo por palavra apresentada, caso não lhe venha nenhum antônimo na cabeça deixe o espaço em branco.

descriptor	antônimo	() F () D	descriptor	antônimo	() F () D
abafado		() F () D	ativo		() F () D
aberto		() F () D	atonal		() F () D
acostumado		() F () D	baixo		() F () D
adequado		() F () D	barulhento		() F () D
afiado		() F () D	repetido		() F () D
agitado		() F () D	brando		() F () D
agoniante		() F () D	brusco		() F () D
agressivo		() F () D	calmo		() F () D
alarmante		() F () D	cansativo		() F () D
alto		() F () D	chato		() F () D
familiar		() F () D	denso		() F () D
fechado		() F () D	tenso		() F () D
fino		() F () D	desconhecido		() F () D
firme		() F () D	descontínuo		() F () D
flutuante		() F () D	direcional		() F () D
frágil		() F () D	discreto		() F () D
frio		() F () D	disperso		() F () D
gostoso		() F () D	emocionante		() F () D
grande		() F () D	encorpado		() F () D
grosso		() F () D	enjoativo		() F () D
intenso		() F () D	monótono		() F () D
interessante		() F () D	murmurado		() F () D
intermitente		() F () D	necessário		() F () D
interrupto		() F () D	nocivo		() F () D
intimidador		() F () D	normal		() F () D
irritante		() F () D	ritmado		() F () D
latente		() F () D	opaco		() F () D
legal		() F () D	opressor		() F () D
lento		() F () D	oprimido		() F () D
leve		() F () D	oscilante		() F () D
prazeroso		() F () D	sopro		() F () D
tonal		() F () D	sossegado		() F () D
profundo		() F () D	estéreo		() F () D
prolongado		() F () D	suave		() F () D
pulsante		() F () D	sufocado		() F () D
rápido		() F () D	sujo		() F () D
regular		() F () D	suportável		() F () D
relaxante		() F () D	sutil		() F () D

Apêndice 7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Pesquisadores: Alexsandro Andrade, Raquel Bitencourt e Stephan Paul

Sexo: () Masculino () Feminino	Idade:	Ocupação
----------------------------------	--------	----------

A seguir você irá ouvir alguns sons referentes às situações de vôos diferentes. Sua tarefa subdivide-se em 3 etapas. Em cada etapa você deverá prosseguir da seguinte maneira:

- 1) Ouça os três sons e em seguida segundo um critério pessoal, escolha entre estes o mais diferente, preenchendo o espaço “SOM MAIS DIFERENTE: _ _ _”.
- 2) A seguir nomeie adjetivos ou expressões que caracterizem essa diferença no retângulo.
- 3) No próximo retângulo atribua adjetivos ou expressões que qualifiquem ou e justifiquem a característica que torna os outros dois sons semelhantes.
- 4) Ao finalizar as duas primeiras etapas parta para a duas seguinte e assim sucessivamente.

Triplo 1

SOM MAIS DIFERENTE: _ _ _ _

Caracterize com adjetivos ou expressões o que o torna diferente

SONS SEMELHANTES:

Caracterize com adjetivos ou expressões o que os tornam semelhantes

Triplo 2

SOM MAIS DIFERENTE: _ _ _ _

Caracterize com adjetivos ou expressões o que o torna diferente

SONS SEMELHANTES:

Caracterize com adjetivos ou expressões o que os tornam semelhantes

Triplo 3

SOM MAIS DIFERENTE: _ _ _ _

Caracterize com adjetivos ou expressões o que o torna diferente

SONS SEMELHANTES:

Caracterize com adjetivos ou expressões o que os tornam semelhantes

Apêndices 8 e 9

Apêndice 8 - Decomposição da Inércia (ER)

Traço da Matriz 8.00000			
Numero	Valor próprio	Porcentagem	Porcentagem cumulativa
1	4.8231	60.29	60.29
2	1.4707	18.38	78.67
3	0.5545	6.93	85.60
4	0.4384	5.48	91.08
5	0.2619	3.27	94.36
6	0.1788	2.23	96.59
7	0.1515	1.89	98.48
8	0.1212	1.52	100.00

Apêndice 9

Matriz de Correlação (ER)

	Aceitabilidade	Agradabilidade	Estabilidade	Intensidade	Irritabilidade	Perturbarção	Suportabilidade	Conforto
Aceitabilidade	1.00							
Agradabilidade	0.83	1.00						
Estabilidade	0.66	0.63	1.00					
Intensidade	-0.16	-0.17	-0.10	1.00				
Irritabilidade	-0.40	-0.43	-0.34	0.45	1.00			
Perturbarção	-0.47	-0.44	-0.39	0.53	0.73	1.00		
Suportabilidade	0.84	0.84	0.63	-0.24	-0.43	-0.47	1.00	
Conforto	0.85	0.87	0.68	-0.21	-0.45	-0.49	0.83	1.00

ER					
Correlação das variáveis ativas x fatores					
Variável	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Aceitabilidade	-0.89	-0.27	0.08	0.09	-0.12
Agradabilidade	-0.89	-0.25	0.09	0.16	0.07
Estabilidade	-0.75	-0.26	-0.19	-0.57	0.05
Intensidade	0.37	-0.74	-0.52	0.18	-0.09
Irritabilidade	0.64	-0.56	0.40	-0.15	-0.29
Perturbação	0.69	-0.57	0.21	-0.01	0.38
Suportabilidade	-0.89	-0.20	0.15	0.13	0.01
Conforto	-0.91	-0.21	0.07	0.07	0.03

Correlação dos modelos psicoacústicos e os fatores (ER)					
Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Fluctuation Strength [vacil]	0.46	0.09	0.11	0.19	0.02
Loudness [soneGF]	-0.10	-0.08	-0.15	-0.09	-0.04
Roughness [asper]	0.09	0.08	0.15	0.08	0.04
Sharpness [acum]	0.17	0.09	0.15	0.11	0.04
Tonality [tu]	0.66	0.06	0.01	0.22	-0.01

Apêndices 10 e 11

Apêndice 10

Matriz de Correlação (EM)

	Aceitabilidade	Agradabilidade	Estabilidade	Intensidade	Irritabilidade	Perturbarção	Suportabilidade	Conforto
Aceitabilidade	1.00							
Agradabilidade	0.77	1.00						
Estabilidade	0.70	0.72	1.00					
Intensidade	-0.16	-0.16	-0.12	1.00				
Irritabilidade	-0.50	-0.45	-0.32	0.59	1.00			
Perturbarção	-0.47	-0.46	-0.31	0.54	0.79	1.00		
Suportabilidade	0.80	0.72	0.68	-0.23	-0.48	-0.51	1.00	
Conforto	0.81	0.78	0.67	-0.18	-0.47	-0.45	0.71	1.00

Decomposição da Inércia (EM)

Traço da Matriz 8.00000

Numero	Valor próprio	Porcentagem	Porcentagem cumulativa
1	4.7657	59.57	59.57
2	1.5591	19.49	79.06
3	0.4766	5.96	85.02
4	0.3185	3.98	89.00
5	0.3045	3.81	92.81
6	0.2313	2.89	95.70
7	0.1959	2.45	98.15
8	0.1483	1.85	100.00

Apêndice 11 - Correlação das variáveis ativas x fatores(EM)

Variável	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Aceitabilidade	-0.89	-0.25	-0.08	0.08	0.19
Agradabilidade	-0.86	-0.27	0.00	0.13	-0.21
Estabilidade	-0.77	-0.38	0.32	-0.29	-0.24
Intensidade	0.41	-0.75	-0.49	-0.12	-0.10
Irritabilidade	0.71	-0.57	0.21	0.01	0.12
Perturbação	0.71	-0.55	0.29	0.16	0.08
Suportabilidade	-0.87	-0.17	-0.01	-0.22	0.37
Conforto	-0.86	-0.24	-0.03	0.35	-0.01

Correlação dos modelos psicoacústicos e os fatores (EM)

Variável	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Fluctuation Strength (vacil)	0.50	0.07	0.00	0.18	0.09
Loudness (oneGF)	-0.15	-0.09	-0.08	-0.16	-0.11
Roughness (asper)	0.15	0.09	0.08	0.15	0.11
Sharpness (acum)	0.22	0.09	0.07	0.16	0.11
Tonality (tu)	0.66	0.01	-0.09	0.12	0.02

Inércia das modalidades (DS)

Libellé	Poids relatif	Distance à l'origine	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8
Agradável/desagradável										
Agr_2	1.012	11.35710	3.32	2.97	1.60	0.01	0.51	0.02	0.88	0.48
Agr_3	1.879	5.65385	1.91	0.04	2.20	5.19	0.39	1.30	5.11	2.48
Agr_4	2.384	4.24242	1.18	0.87	1.96	2.39	4.16	1.21	1.86	3.73
Agr_5	3.396	2.68085	0.26	5.47	2.15	0.51	3.09	0.01	0.00	0.01
Agr_6	2.529	3.94286	2.84	0.87	1.50	3.41	7.93	0.63	0.38	0.77
Agr_7	1.301	8.61111	2.46	3.96	2.29	4.59	6.07	1.03	0.57	2.28

Confortável/desconfortável

Con_2	1.951	5.40741	4.84	3.31	0.28	2.17	0.72	2.70	0.21	0.33
Con_3	1.734	6.20833	1.44	0.16	1.10	0.03	0.12	9.72	2.50	0.07
Con_4	1.879	5.65385	1.07	1.23	1.19	5.23	6.94	0.46	1.36	0.11
Con_5	3.396	2.68085	0.64	5.22	4.09	0.11	4.09	0.25	0.37	0.14
Con_6	2.529	3.94286	3.69	2.00	0.03	2.64	5.84	0.41	0.01	2.21
Con_7	1.012	11.35710	2.36	2.12	1.69	3.51	4.27	0.93	0.02	2.80

Estável/instável

Est_1	2.095	4.96552	2.66	1.80	1.97	2.30	0.70	0.99	4.38	0.32
Est_2	2.746	3.55263	2.19	0.00	2.49	1.33	0.16	0.02	10.18	0.26
Est_3	2.673	3.67568	0.01	1.23	0.42	0.03	0.01	4.76	4.44	2.73
Est_4	0.361	33.60000	0.21	0.27	0.48	0.27	0.44	0.14	2.98	3.79
Est_5	1.951	5.40741	0.58	1.87	1.29	0.01	0.36	3.02	0.45	0.00
Est_6	1.951	5.40741	3.23	0.76	0.01	0.19	0.53	0.21	2.24	3.52
Est_7	0.723	16.30000	1.62	0.91	0.31	0.30	2.28	0.02	0.88	1.38

**Inércia das
modalidades
(DS)**

Libellé	Poids relatif	Distance à l'origine	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8
Intenso/não-intenso										
Int_1	0.795	14.72730	1.76	1.55	0.56	0.14	0.00	0.05	0.31	19.46
Int_2	2.384	4.24242	1.04	0.44	0.08	0.67	0.25	0.48	0.08	16.54
Int_3	3.902	2.20370	0.58	2.55	1.79	0.81	0.01	0.90	0.11	0.17
Int_4	1.590	6.86364	0.00	0.85	0.63	4.54	2.83	0.24	8.01	2.46
Int_5	2.529	3.94286	2.32	0.25	0.47	0.09	0.00	3.43	2.14	0.05
Int_6	1.301	8.61111	2.83	1.47	0.23	1.42	1.84	2.31	0.30	0.55

Irritante/não-irritante

Irri_1	1.156	9.81250	3.13	4.32	3.13	3.58	2.53	0.13	0.00	3.28
Irri_2	2.746	3.55263	3.64	0.23	0.49	4.64	3.39	0.09	0.01	7.22
Irri_3	3.540	2.53061	0.11	4.45	2.22	0.66	2.88	0.13	0.31	1.00
Irri_4	1.445	7.65000	0.68	1.86	1.45	2.52	4.86	0.67	0.02	0.71
Irri_5	1.373	8.10526	1.41	0.00	2.12	0.64	0.04	3.85	4.08	2.36
Irri_6	1.734	6.20833	3.17	0.46	0.71	2.74	1.09	4.40	7.41	0.01
Irri_7	0.506	23.71430	1.88	5.62	9.60	2.92	0.26	0.89	0.51	0.15

Aceitável/inaceitável

Ace_1	0.939	12.30770	2.67	4.81	6.97	1.76	0.02	0.21	0.55	0.12
Ace_2	2.746	3.55263	2.33	0.14	2.66	2.96	0.06	3.33	8.44	0.13
Ace_3	2.962	3.21951	0.89	1.59	2.04	1.79	0.00	8.31	3.67	0.29
Ace_4	1.301	8.61111	0.05	2.21	0.72	1.84	0.28	4.70	1.97	7.50
Ace_5	3.035	3.11905	3.08	0.36	2.80	2.49	1.48	0.00	0.97	0.59
Ace_6	1.517	7.23810	3.88	3.10	1.08	0.14	0.81	0.02	0.56	0.00

Suportável/insuportável

Sup_1	0.939	12.30770	2.93	4.54	6.05	1.18	0.03	0.90	0.09	0.01
Sup_2	3.035	3.11905	3.59	0.00	2.28	1.62	0.07	2.43	4.68	0.69
Sup_3	2.673	3.67568	0.29	1.81	1.18	1.58	0.21	4.00	8.43	2.24
Sup_4	1.301	8.61111	0.29	0.93	0.46	1.73	1.75	5.92	0.12	0.24
Sup_5	2.818	3.43590	1.96	0.97	2.99	2.15	1.14	0.29	1.84	0.56
Sup_6	1.734	6.20833	4.74	4.68	1.56	0.00	1.03	0.09	0.22	0.09

Perturbador/não-perturbador

Per_1	1.156	9.81250	3.20	3.78	2.82	4.30	4.61	0.28	0.05	1.44
Per_2	2.529	3.94286	4.07	0.40	0.46	3.50	7.46	0.04	0.44	1.95
Per_3	3.396	2.68085	0.11	4.15	1.70	0.09	5.29	0.67	0.00	0.03
Per_4	1.228	9.17647	0.36	1.79	0.22	5.60	5.96	3.25	4.85	0.11
Per_5	2.240	4.58065	2.32	0.00	1.49	0.54	0.00	9.67	0.19	0.75
Per_6	1.590	6.86364	2.68	0.46	1.09	3.71	0.66	9.44	0.80	1.80
Per_7	0.361	33.60000	1.51	5.15	10.89	3.40	0.56	1.04	0.03	0.07

Variável (DS)	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Fluctuation Strength (vacil)	0.45	0.19	0.04	0.07	0.03
Loudness (oneGF)	-0.14	-0.25	0.02	-0.02	-0.04
Roughness (asper)	0.13	0.25	-0.02	0.02	0.04
Sharpness (acum)	0.20	0.25	-0.01	0.03	0.04
Tonality (tu)	0.60	0.03	0.09	0.08	0.01